

**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN
MENGUNAKAN METODE *VERY LOW FREQUENCY* (VLF) DI
DAERAH SINDON, DADAPAYU, GUNUNGKIDUL**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :
Kartini
14306141037

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN
MENGUNAKAN METODE *VERY LOW FREQUENCY* (VLF) DI
DAERAH SINDON, DADAPAYU, GUNUNGKIDUL**

Disusun oleh:

Kartini

NIM 14306141037

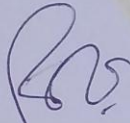
telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 30 Juli 2018


Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

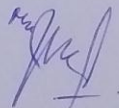


Nugroho Budi Wibowo, M.Si
NIP. 19840223 200801 1 011



Denny Darmawan, M.Sc
NIP. 19791202 200312 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika



Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205 199101 1 001

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Kartini

NIM : 14306141037

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Pemetaan Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin
Menggunakan Metode *Very Low Frequency* (VLF) di
Daerah Sindon, Dadapayu, Gunungkidul

Menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 25 Juli 2018



Kartini

NIM. 14306141037

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul
**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN
MENGUNAKAN METODE *VERY LOW FREQUENCY* (VLF) DI
DAERAH SINDON, DADAPAYU, GUNUNGKIDUL**

Disusun oleh:

Kartini
NIM 14306141037

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 2 Agustus 2018

Dewan Penguji

| Nama | Jabatan | Tanda Tangan | Tanggal |
|--|-----------------------|--|-----------------------|
| Nugroho Budi Wobowo, M.Si. NIP. 19840223 200801 1 011 | Ketua Penguji |  | <u>8 Agustus 2018</u> |
| Bambang Ruwanto, M.Si. NIP. 19651225 199101 1 001 | Penguji Utama |  | <u>7 Agustus 2018</u> |
| Denny Darmawan, M.Sc. NIP. 19791202 200312 1 002 | Sekretaris Penguji |  | <u>8 Agustus 2018</u> |

Yogyakarta, 10 Agustus 2018

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,

Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

Bismillahirrahmannirrahim.

Maka sesungguhnya dibalik kesusahan ada kemudahan (QS. Al-Insyirah: 5).

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhi robbil'alamin, puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah Tuhan SWT atas karunianya saya diberi kesehatan, kelancaran, dan kemudahan sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini. Tugas Akhir Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orangtua saya Bapak Ratip dan Ibu Kinem yang telah memberikan do'a, semangat, nasihat, kasih sayang, dukungan baik moriil maupun materiil yang tidak terhingga.

Kubingkiskan skripsi ini untuk:

1. Kedua kakak saya Mas Edi dan Mas Radi yang sangat saya sayangi, terimakasih untuk do'a serta dukungannya.
2. Keluarga besar saya yang senantiasa memberikan dukungan, do'a, dan kasih sayangnya.
3. Keluarga besar Program Studi Fisika angkatan 2014, khususnya keluarga Fisika B 2014 yang selalu menjadi pemacu semangat satu sama lain, serta semua bantuan yang tak bisa dihitung.
4. Agung Priyono sebagai motivasi, terimakasih atas semangatnya. I love you.
5. Saya sendiri Kartini mahasiswi Program Studi Fisika tahun 2014 yang selalu berusaha kuat dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.

**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH TANAH BRIBIN
MENGUNAKAN METODE *VERY LOW FREQUENCY* (VLF) DI
DAERAH SINDON, DADAPAYU, GUNUNGKIDUL**

Oleh
Kartini
14306141037

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di kawasan karst sekitar Dam 2 Sindon Bribin, Dadapayu, Semanu, Gunungkidul. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi keberadaan dan kedalaman Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin serta menentukan arah dan jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan T-VLF merek IRIS Instruments seri N132 pada 24 - 25 Oktober 2017 sebanyak 3 lintasan dengan panjang lintasan 500 m, jarak antar lintasan sejauh 100 m dan 300 m, serta spasi antar titik sejauh 10 m. Frekuensi pengukuran yang digunakan adalah 19.800 Hz dengan sudut N80E. Pengolahan data dilakukan dengan koreksi topografi, *Filter Moving Average*, *Filter Fraser* dan *Filter Karous Hjelt*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Rapat Arus Ekuivalen (RAE) bernilai tinggi untuk lintasan 1 berada pada jarak 210 m dengan kedalaman 50 m di bawah permukaan, untuk lintasan 2 berada pada jarak 225 m dengan kedalaman 60 m di bawah permukaan, dan untuk lintasan 3 berada pada jarak 250 m dengan kedalaman 60 m di bawah permukaan. Hasil pemodelan 2D dan 3D menunjukkan bahwa Sungai Bawah Tanah Bribin mengalir dari arah utara menuju selatan pada kedalaman 50 – 60 m di bawah permukaan.

Kata kunci : sungai bawah tanah, metode VLF, Bribin

**BRIBIN UNDERGROUND RIVER MAPPING USING VERY LOW
FREQUENCY (VLF) METHOD IN SINDON DADAPAYU
GUNUNGKIDUL**

By
Kartini
14306141037

ABSTRACT

This research was conducted in karst area around Dam 2 Sindon Bribin, Dadapayu, Semanu, Gunungkidul. The purpose of this study was to identify the existence and depth of the Bribin Underground River around Dam 2 Sindon Bribin and also to determine the direction and path of the Bribin Underground River around Dam 2 Sindon Bribin.

Data were collected using IRIS Instruments T-VLF N132 series on 24 - 25 October 2017 with 3 lines with length of 500 m, distance between lines was 100 m and 300 m, and spacing between points was 10 m. Measurement frequency was 19.800 Hz with N80E angle. Data processing was done with topographic correction, Moving Average Filter, Fraser Filter and Karous Hjelt Filter.

The analysis result showed that Equivalent Current Density (ECD) of high value of line 1 is at a distance of 210 m with a depth of 50 m below the surface, line 2 is at a distance of 225 m with a depth of 60 m below the surface, and line 3 is at 250 m with depth of 60 m below the surface. The 2D and 3D modeling results showed that the Bribin Underground River is flowing from north to south at depths of 50 - 60 m below the surface.

Keywords : underground river, VLF method, Bribin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobil'alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia_Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Science yang berjudul **“Pemetaan Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin Menggunakan Metode *Very Low Frequency* (VLF) di Daerah Sindon, Dadapayu, Gunungkidul”**. Shalawat serta salam tidak lupa tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa dalam perencanaan, pelaksanaan, hingga penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini tidak terlepas dari arahan, bantuan, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan kerendahan hati penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Sutrisna Wibawa, M.Pd. selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kebijakan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi.
2. Bapak Hartono, M.Si. selaku Dekan FMIPA UNY yang telah memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi ini.
3. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si dan Bapak Denny Darmawan, M.Sc selaku pembimbing Tugas Akhir Skripsi yang memotivasi dan menyemangati serta telah meluangkan waktunya di sela kesibukan dan istirahat.
4. Semua dosen Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.

5. Seluruh karyawan dan staff Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memfasilitasi penulis selama melaksanakan Tugas Akhir Skripsi.
6. Kedua orang tua tercinta, terbaik, dan tersabar yang selalu memberikan dukungan dan do'a terbaiknya.
7. Teman-teman *Physics* B 2014 yang saling mendukung dan memotivasi
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini.

Semoga Allah memberikan balasan atas kebaikan yang telah diberikan. Tidak ada hal yang sempurna di dunia ini, sama halnya dengan penulisan Tugas Akhir Skripsi ini. Masih banyak kekurangan dalam penulisan karya ilmiah ini, oleh karena itu sangat diperlukan kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga karya ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Yogyakarta, 30 Juli 2018

Penulis

Kartini
NIM. 14306141037

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|--------------|
| COVER | i |
| LEMBAR PERSETUJUAN | ii |
| SURAT PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| MOTTO | v |
| PERSEMBAHAN..... | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| KATA PENGANTAR..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 5 |
| C. Batasan Masalah..... | 6 |
| D. Rumusan Masalah | 6 |
| E. Tujuan Penelitian | 6 |
| F. Manfaat Penelitian | 6 |
| BAB II DASAR TEORI..... | 8 |
| A. Gelombang Elektromagnet..... | 8 |
| B. Persamaan Dasar Gelombang Elektromagnet..... | 9 |
| C. <i>Very Low Frequency Electromagnet (VLF-EM)</i> | 11 |
| 1. <i>Mode Tilt Angle</i> | 14 |
| 2. <i>Mode Resistivity</i> | 14 |
| D. Fase dan Polarisasi <i>Ellips</i> | 15 |
| E. Gangguan Terhadap Sinyal VLF | 18 |
| F. Koreksi Topografi | 19 |
| G. <i>Filter</i> | 19 |
| 1. <i>Filter Moving Average</i> | 20 |
| 2. <i>Filter Fraser</i> | 20 |
| 3. <i>Filter Karous Hjelt</i> | 21 |
| H. Rapat Arus Ekuivalen (RAE)..... | 22 |
| I. Sungai Bawah Tanah..... | 23 |
| J. Karst | 23 |
| K. Kecamatan Semanu Kabupaten Gunungkidul | 26 |
| 1. Zona Utara (Zona Batur Agung) | 27 |
| 2. Zona Tengah (Zona Ledok Wonosari) | 27 |
| 3. Zona Selatan (Zona Pegunungan Seribu)..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III METODE PENELITIAN | 30 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian | 30 |
| B. Alat dan Bahan | 31 |
| 1. Perangkat Lunak | 31 |
| 2. Perangkat Keras | 32 |
| C. Prosedur Pelaksanaan Penelitian | 33 |
| 1. Persiapan Penelitian | 33 |
| 2. Pelaksanaan Penelitian | 35 |
| 3. Pengolahan Data | 36 |
| D. Diagram Alir Penelitian | 37 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 39 |
| A. Koreksi Topografi | 41 |
| B. <i>Filter Moving Average</i> | 44 |
| C. <i>Filter Fraser</i> | 48 |
| D. <i>Filter Karous Hjelt</i> | 51 |
| E. Pemodelan 3D | 59 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 64 |
| A. Kesimpulan | 64 |
| B. Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | 65 |
| LAMPIRAN | 69 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 1. Perambatan Gelombang Elektromagnet | 8 |
| Gambar 2. Distribusi Medan Elektromagnet Metode VLF di atas Medium Konduktif | 13 |
| Gambar 3. Desain Survei untuk Mode <i>Tilt Angle</i> | 14 |
| Gambar 4. Desain Survei untuk Mode <i>Resistivity</i> | 15 |
| Gambar 5. Hubungan Fase Medan Primer dan Medan Sekunder | 16 |
| Gambar 6. Polarisasi <i>Ellips</i> Akibat Benda Konduktif | 17 |
| Gambar 7. Desain Survei Pengambilan Data | 31 |
| Gambar 8. Satu Set T-VLF merek IRIS Instruments | 32 |
| Gambar 9. (a) Kompas Geologi (b) GPS Garmin Seri 78s | 33 |
| Gambar 10. Diagram Alir Penelitian | 38 |
| Gambar 11. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi pada Lintasan 1 | 42 |
| Gambar 12. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi pada Lintasan 2 | 43 |
| Gambar 13. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi pada Lintasan 3 | 44 |
| Gambar 14. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan <i>Tilt</i> (%) dan Eliptisitas (%) sesudah <i>Filter Moving Average</i> pada Lintasan 1 | 45 |
| Gambar 15. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan <i>Tilt</i> (%) dan Eliptisitas (%) sesudah <i>Filter Moving Average</i> pada Lintasan 2 | 46 |
| Gambar 16. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan <i>Tilt</i> (%) dan Eliptisitas (%) sesudah <i>Filter Moving Average</i> pada Lintasan 3 | 47 |
| Gambar 17. Grafik Hubungan Jarak dengan <i>Tilt</i> sesudah <i>Filter</i> Fraser pada Lintasan 1 | 49 |
| Gambar 18. Grafik Hubungan Jarak dengan <i>Tilt</i> sesudah <i>Filter</i> Fraser pada Lintasan 2 | 50 |
| Gambar 19. Grafik Hubungan Jarak dengan <i>Tilt</i> sesudah <i>Filter</i> Fraser pada Lintasan 3 | 51 |
| Gambar 20. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 1 | 53 |
| Gambar 21. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 2 | 55 |
| Gambar 22. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 3 | 56 |
| Gambar 23. Gabungan Plot 2D Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Ketiga Lintasan | 58 |
| Gambar 24. <i>Solid Model</i> 3D Gabungan Ketiga Lintasan | 59 |
| Gambar 25. <i>Slice Solid Model</i> 3D Gabungan Ketiga Lintasan | 61 |
| Gambar 26. <i>Solid Model</i> 3D Gabungan Ketiga Lintasan sesudah <i>Iso-Leveling</i> | 62 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 1. Parameter Akuisisi Data VLF | 36 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|----------------|
| Lampiran 1. <i>Worksheet</i> Pengambilan Data | 70 |
| Lampiran 2. Tahap Pembuatan Desain Survei | 76 |
| Lampiran 3. Tahap Pengolahan Data | 86 |
| Lampiran 4. Tahap Pemodelan | 93 |
| Lampiran 5. <i>Transmitter</i> | 99 |
| Lampiran 6. Dokumentasi Pengambilan Data | 101 |
| Lampiran 7. Data Bor Dam 2 Sindon Bribin | 102 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan sumber daya untuk memenuhi aktivitas sehari-hari. Secara umum penduduk di Indonesia masih dipermasalahkan dengan pemenuhan air untuk aktivitas sehari-hari. Salah satu kabupaten di Pulau Jawa yang setiap tahun mengalami krisis air adalah Kabupaten Gunungkidul. Kabupaten Gunungkidul merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan ibu kota Wonosari yang terletak 39 km sebelah tenggara Kota Yogyakarta. Secara geografis, Kabupaten Gunungkidul berada pada 7°46' LS - 8°09' LS dan 100°21' BT - 110°50' BT, dengan luas wilayah 1.485,36 km² (Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, 2018). Kabupaten Gunungkidul dikenal sebagai kawasan yang kering, tandus, dan relatif sulit mendapatkan air dalam mencukupi kebutuhan sehari-hari terutama pada saat musim kemarau. Hal ini disebabkan karena sedikitnya sungai permukaan dan lebih berkembangnya jalur-jalur sungai bawah permukaan. Keadaan geologinya sebagian besar tersusun atas batu gamping (*limestone*) yang sudah mengalami proses *karstifikasi* dengan topografi yang unik yaitu berupa perbukitan, luweng (*sinkhole*), gua, dan sungai bawah tanah (Ford dan Williams, 1992).

Batu gamping mempunyai tingkat kelarutan tinggi yang menyebabkan tanah menjadi *porous* dan langsung melewatkan air hujan yang jatuh di permukaan tanah. Melalui rekahan dan retakan-retakan batuan yang mengalami pelapukan

maupun pelarutan, air mengalir baik secara vertikal maupun horizontal. Air yang mengalir ke bawah permukaan tanah akan terakumulasi dalam suatu pola aliran tertentu seperti sungai permukaan melalui lorong-lorong gua kemudian pada akhirnya membentuk sungai bawah tanah (Kusumayudha, 2005).

Ketersediaan air di daerah karst merupakan masalah yang hingga kini belum terselesaikan, seperti halnya dengan daerah penelitian yang berada di Desa Dadapayu, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Kekeringan menjadi masalah klasik dari tahun ke tahun. Masyarakat setempat sejak dahulu bertahan hidup dengan memanfaatkan air yang diperoleh dari telaga karst ataupun penampungan air hujan. Setiap musim kemarau tiba, timbul masalah kekurangan air di daerah ini karena mengeringnya sumber air di permukaan. Padahal aliran sungai bawah permukaan di daerah ini sebagian telah ditemukan di dalam gua dan berpotensi mengandung banyak air, tetapi usaha pencarian terhadap sungai bawah tanah belum maksimal.

Dari hasil penelitian Mac Donald (1984), terungkap bahwa terdapat beberapa sungai bawah tanah dengan debit yang besar dan melimpah seperti Sungai Bawah Tanah Bribin, Seropan, Baron, Ngobaran dan sistem sungai bawah tanah lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sungai bawah tanah dan keluarannya berupa mata air mempunyai reservoir besar. Masalahnya, keberadaan sungai bawah tanah yang meliputi posisi dan kedalaman sebagian besar belum diketahui seperti Sungai Bawah Tanah Bribin.

Metode geologi yang secara langsung menyelidiki singkapan di permukaan belum optimal untuk melakukan pemetaan keberadaan sungai bawah tanah.

Walaupun beberapa singkapan muncul, penelitian di permukaan secara langsung kurang menyediakan informasi kedalaman dan distribusi aliran sungai bawah tanah pada daerah karst. Untuk mengetahui jalur sungai bawah tanah yang melewati lorong-lorong gua, dibutuhkan suatu metode geofisika yang efektif dan efisien sesuai dengan keadaan topografi di daerah Gunungkidul. Keadaan topografi daerah karst berupa bukit-bukit curam, sehingga membutuhkan suatu metode yang menghasilkan respon jelas dan akuisisi data yang relatif mudah walaupun medan cukup berat, serta memiliki resolusi tinggi pada kedalaman dangkal. Metode elektromagnet VLF cukup menjanjikan untuk digunakan dalam pemetaan sungai bawah tanah di daerah karst.

Metode VLF merupakan salah satu metode dengan memanfaatkan gelombang elektromagnet yang dipancarkan dari pemancar radio. Metode ini dipilih untuk menyelidiki sungai bawah tanah di daerah karst karena kontras dari batuan (lebih resistif atau konduktif) yang cukup signifikan. Aliran sungai bawah tanah pada medium batu gamping erat sekali kaitannya dengan retakan dan rekahan yang dapat melebar secara unik karena proses pelarutan. Kenampakan tersebut sering terisi oleh fluida berupa air yang kandungannya bervariasi, sehingga peningkatan konduktivitas listrik cukup signifikan daripada lingkungan karst itu sendiri dan membuatnya mudah dideteksi dengan teknik elektromagnet seperti VLF-EM (Coppo *et al*, 2006). Penggunaan data VLF juga memungkinkan untuk mendeteksi dan menggambarkan struktur variasi karst secara luas, serta dapat memperkirakan jalur-jalur interkoneksi dalam karst yang biasanya diisi oleh air atau sedimen.

Metode VLF diharapkan dapat membantu melaksanakan pemetaan yang cukup luas mengenai potensi sungai bawah tanah di kawasan karst. Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan dengan metode VLF di antaranya oleh Sismanto *et al.*, (2003) yang pernah melakukan penelitian di sekitar Gua Bribin dengan menggunakan tiga buah lintasan yang memotong sungai bawah tanah. Penelitian yang tergolong masih uji coba tersebut menemukan adanya indikasi respon positif dari penggunaan metode VLF untuk mendeteksi keberadaan sungai bawah tanah. Hasil yang diperoleh yaitu ditemukan adanya anomali sungai bawah tanah pada kedalaman 50 m di bawah permukaan. Penelitian tersebut menghasilkan respon jelas serta akuisisi data yang relatif lebih mudah walaupun medan cukup berat, sehingga metode VLF-EM cukup efektif digunakan untuk pemetaan sungai bawah tanah di Gunungkidul, Yogyakarta.

Dalam rangka untuk menindaklanjuti uji coba penelitian Sismanto *et al.*, (2003), pada tahun 2009 Febria melakukan penelitian kembali menggunakan metode VLF-EM. Penelitian tersebut berada di sebelah barat Gua Bribin dimana lokasi tersebut berada di bagian selatan dari lokasi penelitian saat ini. Penelitian yang dilakukan oleh Febria tersebut berhasil menemukan pola aliran dari sungai bawah tanah. Pola aliran tersebut mengarah pada arah timur laut ke barat daya.

Parera (2008) pernah melakukan akuisisi data serupa dengan metode VLF di Desa Dadapayu, Semanu, Gunungkidul dan didapatkan informasi yang jelas mengenai keberadaan Sungai Bawah Tanah Bribin. Rousmawati (2010) pernah melakukan penelitian Sungai Bawah Tanah Bribin di Desa Dadapayu, Semanu, Gunungkidul dan didapatkan anomali yang jelas mengenai sungai bawah tanah.

Oleh karena itu, metode ini diharapkan mampu untuk menginterpretasikan dan memodelkan Sungai Bawah Tanah Bribin.

Dalam hal ini peneliti memfokuskan lokasi pengambilan data penelitian di Desa Dadapayu, lebih tepatnya di sebelah utara Dam 2 Sindon Bribin. Hal ini dilakukan selain karena Desa Dadapayu yang terkenal kering juga untuk melanjutkan pemetaan sungai bawah tanah yang sebelumnya telah terpetakan oleh Dinas Pekerja Umum Kabupaten Gunungkidul pada tahun 2002. Dalam peta Sungai Bawah Tanah Bribin, belum dilanjutkan lagi mengenai informasi keberlanjutan (*continuity*) arah serta kedalaman sungai. Jika hal ini dapat dilakukan dengan baik maka pemetaan dapat lebih luas lagi, serta diharapkan dapat memberi informasi yang berguna bagi masyarakat setempat maupun Pemda Kabupaten Gunungkidul guna memenuhi kebutuhan air.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Gunungkidul merupakan daerah karst yang masih kekurangan air untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari terutama pada saat musim kemarau.
2. Belum banyak penelitian tentang eksplorasi sungai bawah tanah menggunakan metode elektromagnet VLF (*Very Low Frequency*) di daerah Gunungkidul.
3. Terdapat sungai bawah tanah dengan debit yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal karena sebagian besar belum terpetakan mengenai posisi, arah aliran, ataupun kedalamannya.

C. Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang dikaji dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada pada koordinat geografis $8^{\circ}02'27,21''$ LS - $8^{\circ}02'11,41''$ LS dan $110^{\circ}40'18,14''$ BT – $110^{\circ}40'33,95''$ BT yang secara administrasi masuk wilayah Desa Dadapayu, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul.
2. Pengambilan data VLF-EM menggunakan *transmitter* North West Cape (NWC) Australia dengan sudut N80E.

D. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Apakah dapat teridentifikasi keberadaan Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin dan berapa kedalamannya?
2. Kemanakah arah dan jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi keberadaan dan kedalaman Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin.
2. Menentukan arah dan jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut:

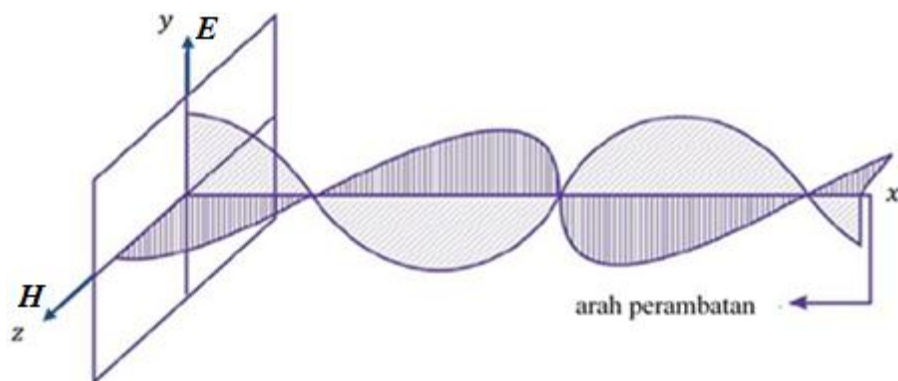
1. Berdasarkan tujuan yang hendak dicapai, diharapkan hasil interpretasi dan pemodelan dapat memberikan informasi pola aliran sungai bawah tanah di daerah survei.
2. Memberi manfaat bagi masyarakat sekitar dengan menambah informasi keberadaan Sungai Bawah Tanah Bribin dan dapat dimanfaatkan oleh pemda setempat dalam pemenuhan air bersih masyarakat.
3. Sebagai bahan masukan dan referensi penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

A. Gelombang Elektromagnet

Gelombang elektromagnet adalah gelombang yang dapat merambat pada medium dan ruang hampa (Budi, 2013). Gelombang elektromagnet merupakan rambatan getaran sinus medan listrik (E) dan medan magnet (H) dengan frekuensi tertentu (Wilardjo, 2015). Gelombang elektromagnet dapat menjalar ke seluruh dunia dengan atenuasi yang kecil dalam pandu gelombang antara permukaan bumi dan ionosfer. Pada umumnya arah rambat gelombang elektromagnet digambarkan dengan sumbu x , arah medan listrik digambarkan dengan sumbu y , dan arah medan magnet digambarkan dengan sumbu z (Gambar 1).



Gambar 1. Perambatan Gelombang Elektromagnet (Cheng, 1989)

Medan listrik dan medan magnet sangat berhubungan, dan perubahan keduanya terjadi pada saat yang bersamaan. Medan listrik dipengaruhi oleh adanya muatan. Dalam ilmu fisika dikenal dua muatan yaitu muatan positif (proton) dan muatan negatif (elektron). Gerakan kedua muatan tersebut dapat menimbulkan arus listrik yang mampu membangkitkan medan magnet. Medan magnet yang berubah

terhadap waktu juga menghasilkan medan listrik (Cheng, 1989). Menurut Maxwell, ketika terdapat perubahan medan listrik maka akan terjadi perubahan medan magnet. Perubahan medan magnet ini akan menimbulkan kembali perubahan medan listrik dan begitu seterusnya.

B. Persamaan Dasar Gelombang Elektromagnet

Persamaan dasar gelombang elektromagnet dapat diturunkan dari persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell dalam bentuk hubungan vektor medan listrik dan medan magnet dapat digunakan untuk memahami perambatan gelombang elektromagnet di dalam medium (Cheng, 1989). Penurunan rumus pada penelitian ini menggunakan empat persamaan Maxwell. Empat persamaan Maxwell tersebut adalah:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = \frac{-\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (4)$$

dimana \mathbf{E} adalah medan listrik (V/m), \mathbf{B} adalah induksi magnet (Wb/m²), \mathbf{H} adalah medan magnet (A/m), \mathbf{J} adalah rapat arus listrik (A/m²), \mathbf{D} adalah pergeseran listrik (C/m²), ρ_f adalah rapat muatan (C/m³) dan t adalah waktu (detik).

Persamaan (1) adalah bentuk matematis dari hukum Gauss yang menyatakan bahwa jumlah perpindahan arus yang melewati suatu permukaan sama dengan jumlah muatan yang ada. Persamaan (2) adalah divergensi dari induksi magnet yang bernilai nol. Persamaan (3) adalah bentuk matematis dari hukum Faraday yang menyatakan bahwa medan listrik timbul karena adanya induksi

magnet yang berubah terhadap waktu. Persamaan (4) adalah bentuk matematis dari hukum Ampere yang menyatakan bahwa medan magnet yang terjadi di dalam suatu ruang ditimbulkan oleh aliran arus, serta besarnya medan magnet berbanding lurus dengan arus listrik totalnya.

Dalam medium homogen isotrop, dimana $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$, $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$, dan $\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$ maka persamaan (3) dan (4) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \left(\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \right) \quad (5)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma\mathbf{E} + \varepsilon \left(\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \quad (6)$$

dimana μ adalah permeabilitas magnet (H/m), ε adalah permitivitas (F/m), σ adalah konduktivitas ($\text{ohm}^{-1} \text{ m}^{-1}$), dan ω adalah frekuensi sudut medan. Dengan menerapkan operasi *curl* pada persamaan (5) dan (6) serta vektor identitas $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$, maka akan didapatkan:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu\sigma \left(\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) + \varepsilon\mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \right) \quad (7)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = \sigma\mu \left(\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \right) + \varepsilon\mu \left(\frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \right) \quad (8)$$

Apabila fungsi waktunya dipilih sebagai fungsi sinusoid dimana

$$\mathbf{E}(t) = \mathbf{E}_0 e^{i\omega t} \quad \text{sehingga} \quad \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = i\omega \mathbf{E} \quad (9)$$

dan

$$\mathbf{H}(t) = \mathbf{H}_0 e^{i\omega t} \quad \text{sehingga} \quad \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = i\omega \mathbf{H} \quad (10)$$

dengan $\omega = 2\pi f$ merupakan kecepatan sudut medan, maka persamaan (7) dan (8) dapat disederhanakan menjadi:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = i\omega\mu\sigma\mathbf{E} - \omega^2\varepsilon\mu\mathbf{E} \quad (11)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = i\omega\mu\sigma\mathbf{H} - \omega^2\varepsilon\mu\mathbf{H} \quad (12)$$

Persamaan (11) dan (12) adalah persamaan gelombang elektromagnet untuk perambatan vektor medan listrik dan medan magnet di dalam medium homogen isotrop yang memiliki konduktivitas σ , permeabilitas μ , dan permitivitas ε (Telford *et al*, 1990). Jika gelombang elektromagnet melewati benda berkonduktivitas rendah, maka:

$$\nabla^2 \mathbf{E} \approx -\omega^2 \varepsilon \mu \mathbf{E} \quad \text{dan} \quad \nabla^2 \mathbf{H} \approx -\omega^2 \varepsilon \mu \mathbf{H} \quad (13)$$

Apabila gelombang elektromagnet melewati benda berkonduktivitas tinggi, maka:

$$\nabla^2 \mathbf{E} \approx i\omega\mu\sigma\mathbf{E} \quad \text{dan} \quad \nabla^2 \mathbf{H} \approx i\omega\mu\sigma\mathbf{H} \quad (14)$$

Besarnya kedalaman penetrasi gelombang elektromagnet dipengaruhi oleh *skin depth*. *Skin depth* merupakan ukuran kedalaman ideal dari perambatan gelombang, dikarenakan gelombang elektromagnet akan berkurang sebesar e^{-1} atau sekitar 37% ketika melewati konduktor. Besarnya *skin depth* untuk medium yang konduktif tergantung dari frekuensi gelombang elektromagnet yang dipancarkan, konduktivitas, dan permeabilitas medium. Nilai *skin depth* ditunjukkan dengan persamaan berikut (Cheng, 1989).

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (15)$$

dimana δ adalah *skin depth* dari medium (m), μ adalah permeabilitas (H/m), σ adalah konduktivitas ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$), dan f adalah frekuensi dari gelombang elektromagnet (Hz).

C. *Very Low Frequency Electromagnet (VLF-EM)*

Metode VLF-EM merupakan salah satu dari berbagai macam metode geofisika yang memanfaatkan parameter frekuensi. Metode VLF-EM tergolong metode geofisika pasif, karena prinsip kerjanya hanya menangkap sinyal satu

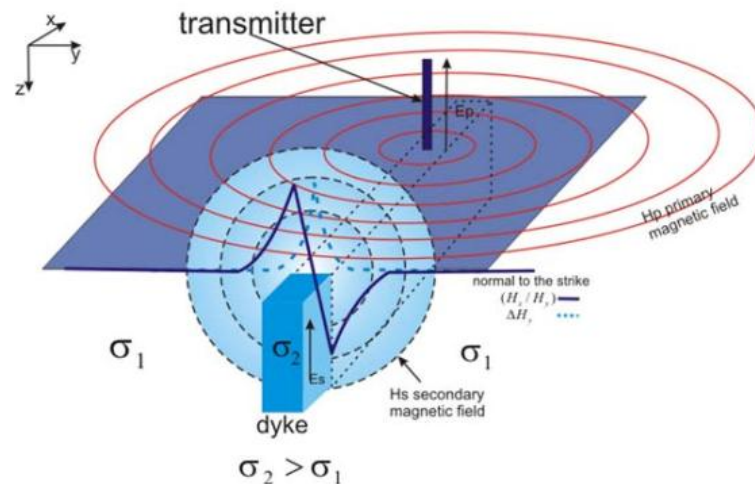
frekuensi dari stasiun-stasiun yang ada di seluruh dunia (Holt, 1967). Sama seperti namanya, metode VLF-EM ini memanfaatkan medan elektromagnet yang dibangkitkan oleh pemancar radio (*transmitter*) berfrekuensi sangat rendah yaitu 15 – 30 KHz dengan daya sangat besar. Karena frekuensinya rendah, gelombang ini memiliki penetrasi yang cukup dalam (Febria, 2009).

Pada awalnya, metode VLF-EM digunakan untuk keperluan sistem navigasi kapal selam dan stasiun komunikasi angkatan laut. Namun saat ini, metode VLF-EM dapat digunakan untuk mengetahui konduktivitas batuan berdasarkan pengukuran medan elektromagnet. Medan elektromagnet yang diukur oleh alat ukur VLF-EM adalah medan magnet total (H_R) yang besarnya sangat tergantung pada konduktivitas benda bawah permukaannya. Besarnya konduktivitas menggambarkan besarnya kemampuan medium untuk menghantarkan listrik, sehingga dengan mengukur kuat medan magnet pada arah tertentu maka secara tidak langsung dapat mendeteksi daya hantar listrik batuan di bawahnya.

Medan elektromagnet primer adalah medan elektromagnet dari *transmitter* yang memiliki komponen medan listrik vertikal E_{Pz} dan komponen medan magnet horizontal H_{Py} yang tegak lurus terhadap arah perambatan pada sumbu x . Medan elektromagnet yang dipancarkan oleh *transmitter* selanjutnya akan diterima oleh stasiun penerima dalam tiga macam perambatan gelombang yaitu gelombang tanah, gelombang langsung, dan gelombang pantul. Dalam hal ini yang paling sering ditemui pada daerah survei adalah gelombang pantul (Telford *et al*, 1990).

Pada jarak yang cukup jauh dari antena pemancar, komponen medan elektromagnet primer dapat dianggap sebagai gelombang yang berjalan secara

horizontal. Jika di bawah permukaan terdapat suatu medium yang konduktif, maka komponen medan magnet dari gelombang elektromagnet primer akan menginduksi medium tersebut, sehingga akan menimbulkan arus induksi (*Eddy Current*). Arus induksi tersebut akan menimbulkan medan elektromagnet baru yang disebut dengan medan elektromagnet sekunder, yang mempunyai komponen medan listrik vertikal E_{sz} dan komponen medan magnet horizontal H_{sx} . Medan magnet ini mempunyai bagian yang sefase (*in-phase*) dan berbeda fase (*out-of-phase*) dengan medan primer. Distribusi medan elektromagnet sekunder sangat tergantung dari sifat konduktivitas benda di bawah permukaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

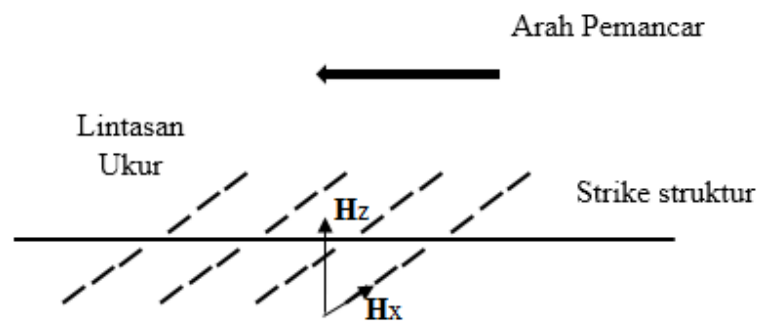


Gambar 2. Distribusi Medan Elektromagnet Metode VLF di atas Medium Konduktif (Bosch & Muller, 2001).

Terdapat dua jenis mode pengukuran menggunakan metode VLF-EM, yaitu mode *tilt angle* dan mode *resistivity* (Nabighian, 1991). Mode *tilt angle* mengukur polarisasi komponen medan magnet primer dan sekunder, sedangkan mode *resistivity* mengukur polarisasi komponen medan magnet dan medan listrik.

1. Mode *Tilt Angle*

Mode *tilt angle* digunakan untuk mengetahui struktur konduktif dan kontak geologi seperti zona alterasi, patahan, serta *dyke*. Pengukuran dalam mode *tilt angle* idealnya menggunakan *transmitter* yang arahnya tegak lurus dengan arah lintasan survei, serta tegak lurus dengan *strike* geologi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada pengukuran semacam ini, medan primer akan memberikan fluks yang maksimum jika memotong struktur, sehingga memberikan kemungkinan anomali yang paling besar.

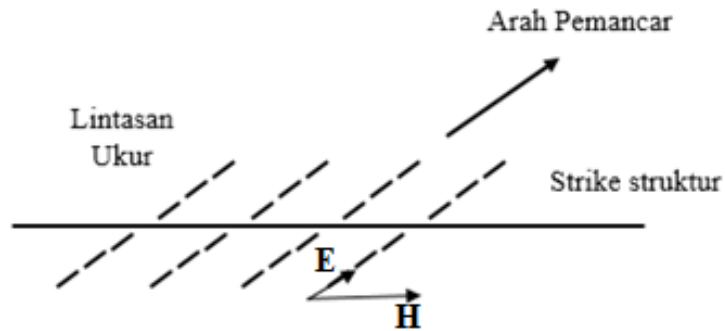


Gambar 3. Desain Survei untuk Mode *Tilt Angle* (modifikasi dari Nabighian, 1991)

2. Mode *Resistivity*

Mode *resistivity* digunakan untuk mengetahui *dyke* resistif atau untuk membatasi satuan geologi melalui pemetaan hambatan jenisnya. Pengukuran dalam mode *resistivity* idealnya menggunakan *transmitter* yang arahnya sejajar dengan arah lintasan survei dan tegak lurus terhadap *strike* geologi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada pengukuran ini, medan listrik mempunyai variasi amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan medan magnet dan tegak lurus terhadap *strike* agar mendapatkan kemungkinan anomali yang paling akurat. Parameter yang terukur

adalah *apparent resistivity* (ρ_a) yang merupakan perbandingan medan listrik dengan medan magnet serta beda fase antar keduanya.



Gambar 4. Desain Survei untuk Mode *Resistivity* (modifikasi dari Nabighian, 1991)

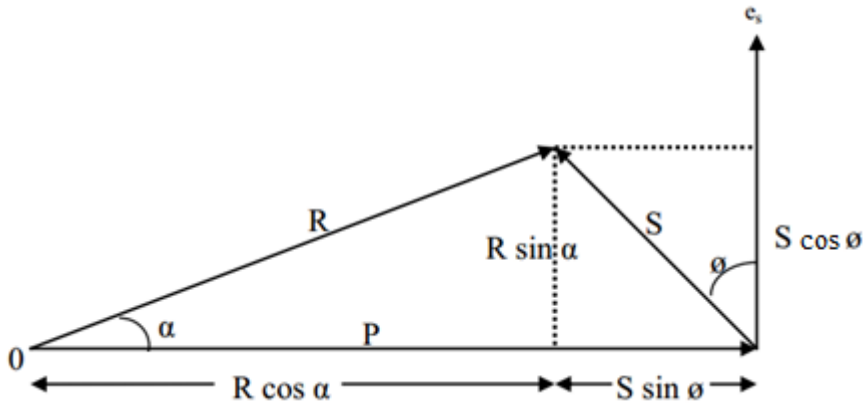
D. Fase dan Polarisasi *Ellips*

Metode VLF-EM dapat dijelaskan melalui perambatan gelombang elektromagnet dari pemancar (*transmitter*) yang merupakan medan primer (P). Saat gelombang elektromagnet masuk ke dalam medium, gaya gerak listrik (ggl) induksi e_s akan muncul dengan frekuensi yang sama dan beda fase terhadap medan primer sebesar 90° (Kaikonen, 1979). Medan primer mampu menginduksi bawah permukaan hingga terjadi arus induksi (*Eddy Current*).

Andaikan $Z = (R + i\omega L)$ adalah impedansi efektif sebuah konduktor dengan hambatan R dan induktansi L , maka arus induksinya adalah $I_s = \frac{e_s}{Z}$ yang akan menjalar ke dalam medium dan menghasilkan medan sekunder (S). Medan sekunder memiliki beda fase \emptyset yang besarnya bergantung pada sifat kelistrikan medium. Besarnya \emptyset ditentukan berdasarkan persamaan $\tan \emptyset = \frac{\omega L}{R}$. Total beda fase antara medan P dan medan S akan menjadi $90^\circ + \emptyset$ atau dapat ditulis dengan persamaan,

$$90^\circ + \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}. \quad (16)$$

Hal ini menunjukkan bahwa, jika terdapat medium yang sangat konduktif yaitu hambatannya bernilai nol ($R \rightarrow 0$), maka beda fasenya mendekati 180° dan jika terdapat medium sangat resistif yaitu hambatannya sangat besar sampai tak hingga ($R \rightarrow \infty$), maka beda fasenya mendekati 90° . Hubungan vektor antara medan P dengan medan S ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan Fase Medan Primer dan Medan Sekunder (Kaikonen, 1979)

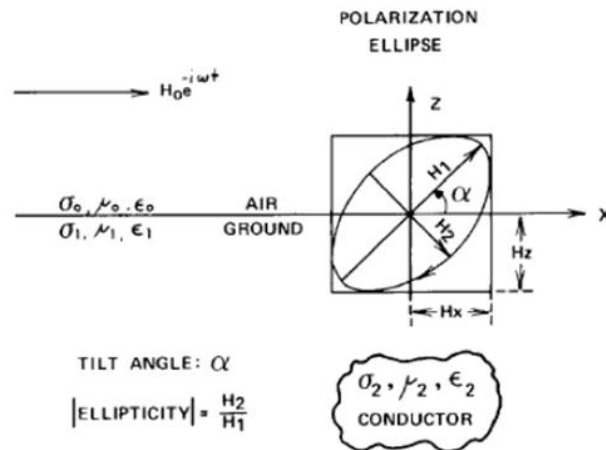
Kombinasi antara medan P dan medan S membentuk resultan R . Komponen R yang sejajar dengan medan P yaitu $R \cos \alpha$ disebut komponen *real (in-phase)*, sedangkan komponen R yang tegak lurus dengan medan P yaitu $R \sin \alpha$ disebut komponen *imaginer (out-of-phase)*. Perbandingan antara komponen *real* dan *imaginer* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\frac{Real}{Imaginer} = \cot \alpha \quad (17)$$

dimana α adalah sudut yang dibentuk oleh komponen R terhadap medan P . Persamaan 16 menunjukkan bahwa semakin besar perbandingan *real per imaginer* (α semakin kecil) maka medium semakin bersifat konduktif. Begitu pula

sebaliknya, jika semakin kecil perbandingan komponen *real* per *imaginer* (α semakin besar) maka medium semakin bersifat resistif.

Medan sekunder memiliki amplitudo yang lebih kecil daripada medan primer dan memiliki beda fase lebih besar terhadap medan primer. Jika gelombang elektromagnet memiliki frekuensi dan fase yang sama, maka akan terjadi superposisi. Superposisi dari kedua gelombang tersebut membentuk polarisasi *ellips* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Polarisasi *Ellips* Akibat Benda Konduktif (Kaikonen, 1979)

Dalam metode VLF-EM dengan mode *tilt angle*, alat akan menghitung parameter sudut *tilt* (α) dan eliptisitas (ϵl) dari komponen *in-phase* maupun *out-of-phase* yang dinyatakan dalam satuan (%). *Tilt* (α) adalah sudut yang dibentuk oleh sumbu mayor terhadap sumbu horizontal polarisasi *ellips* dan besarnya kurang lebih sama dengan perbandingan $\frac{H_z}{H_x}$ dari komponen *in-phase*. Eliptisitas (ϵl) adalah perbandingan antara sumbu minor terhadap sumbu mayor polarisasi *ellips* yang besarnya kurang lebih sama dengan perbandingan komponen *out-of-phase*.

Jika medan magnet horizontal adalah H_x dan medan magnet vertikal adalah H_z , maka besarnya *tilt* ditunjukkan pada persamaan berikut (Kaikonen, 1979)

$$\tan 2\alpha = \pm \left[\frac{2 \frac{H_z}{H_x}}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x} \right)^2} \cos \Delta\phi \right] \times 100\% \quad (18)$$

dan eliptisitas adalah

$$\varepsilon l = \frac{H_2}{H_1} = \left[\frac{H_z H_x}{(H_1)^2} \sin \Delta\phi \right] \times 100\% \quad (19)$$

dimana H_1 dan H_2 adalah sumbu mayor dan sumbu minor polarisasi *ellips*, sedangkan ϕ_z dan ϕ_x adalah fase komponen medan magnet vertikal dan komponen medan magnet horizontal.

E. Gangguan Terhadap Sinyal VLF

Sumber gangguan pertama pada proses pengukuran VLF adalah adanya radiasi medan elektromagnet akibat aktivitas di ionosfer, baik di tempat yang dekat maupun di tempat yang jauh dari daerah pengukuran. Gangguan ini dapat melemahkan sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter*. Gangguan ini dicirikan dengan naiknya kuat medan magnet pada komponen vertikal dan horizontal secara tiba-tiba.

Gangguan kedua adalah variasi harian medan elektromagnet bumi, dimana terjadi pergerakan badai dari arah timur ke barat yang terjadi pada siang hingga sore hari menjelang malam. Untuk daerah sekitar Australia, gangguan minimum terjadi pada bulan Mei sampai Juli, dan gangguan maksimum terjadi pada jam 08.00 waktu lokal yang kemudian merambat naik hingga maksimum pada jam 16.00 waktu lokal (McNeill & Labson, 1991).

F. Koreksi Topografi

Pengolahan data yang dilakukan baik secara manual ataupun menggunakan perangkat lunak mengabaikan pengaruh dari topografi. Hal tersebut dikarenakan pengaruh topografi tidak signifikan. Namun pada kenyataannya pengaruh topografi cukup mempengaruhi data apabila survei yang dilakukan berada pada daerah dengan topografi berupa bukit-bukit (berundulasi). Jika topografi daerah penelitian tidak datar, maka akan ada yang mempengaruhi hasil pengukuran VLF-EM. Pada bidang miring, medan sekunder akan sejajar dengan bidang miring tersebut, sedangkan medan primer akan tetap horizontal. Akibatnya resultan kedua medan tersebut akan mengikuti kemiringan topografi (Baker & Myers, 1980).

Pada penelitian ini, data VLF-EM terkoreksi topografi Baker Myers. Koreksi ini berdasarkan studi laboratorium, yaitu dengan meletakkan benda konduktif pada kemiringan topografi yang bervariasi, dimana pengaruh topografi berbanding lurus terhadap kemiringannya. Model dari koreksi tersebut merupakan model empiris yang membandingkan antara nilai *tilt* satu (R_1) dengan nilai *tilt* sesudahnya (R_2) pada lintasan yang memiliki kemiringan atau *slope* (Baker & Myers, 1980).

$$R_{(1,2)} = \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) \pm TC \quad (20)$$

dimana R_1 adalah pembacaan data VLF di titik 1 (%), R_2 adalah pembacaan data VLF di titik 2 (%), dan TC adalah koreksi topografi (%).

G. Filter

Data VLF-EM yang diperoleh dapat mengandung gangguan (*noise*) sehingga perlu dilakukan *filter*. Selain berfungsi untuk menghilangkan *noise*, *filter*

juga mampu memperjelas anomali. Berikut ini adalah jenis *filter* yang digunakan dalam pengolahan data VLF-EM mode *tilt angle*:

1. *Filter Moving Average*

Filter Moving Average adalah *filter* yang digunakan untuk menghilangkan *noise* yang bersifat lokal dengan memisahkan data yang mengandung frekuensi tinggi dan rendah. Data yang mengandung frekuensi tinggi diasumsikan sebagai sinyal, sedangkan data yang berfrekuensi rendah diasumsikan sebagai *noise*. Metode ini dilakukan dengan cara merata-rata nilai anomalnya kemudian dibagi dengan jumlah jendela yang digunakan, atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (Nabighian, 1991):

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} x[i + j] \quad (21)$$

dimana $y[i]$ adalah sinyal *output* hasil *Filter Moving Average*, $x[i + j]$ adalah sinyal *input*, dan M adalah orde *filter*.

2. *Filter Fraser*

Titik dimana *tilt* mengalami persilangan dari polaritas positif menjadi negatif diinterpretasikan sebagai posisi konduktor yang menyebabkan anomali. Dalam satu profil persilangan ini terlihat cukup jelas, namun ketika diplot ke dalam bentuk peta, letak dari semua titik nol (*inflection point*) tidak dapat diidentifikasi dengan mudah. Salah satu cara untuk menyelesaikan adalah dengan menggunakan *filter* yang ditemukan oleh Fraser pada tahun 1969 yang kemudian dinamakan *Filter Fraser*.

Filter Fraser berfungsi untuk memperlihatkan daerah anomali yang sebelumnya tersebar pada beberapa daerah menjadi sedikit dan lebih fokus dengan

cara mengurangi titik-titik yang ambigu pada saat penentuan titik anomali. Interpretasi data sebelum menggunakan *Filter* Fraser akan sulit dikarenakan penentuan titik perubahan tidak terfokus pada satu titik. Selain itu, jika daerah tersebut memiliki banyak bahan konduktif maka titik perubahan akan lebih sulit untuk ditentukan. Secara matematis *Filter* Fraser dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Fraser, 1969):

$$Fr = \frac{M_n + M_{n+1} - M_{n+2} - M_{n+3}}{4} \quad (22)$$

dimana Fr adalah sinyal *output* hasil *Filter* Fraser dan M_n adalah data ke- n .

3. *Filter* Karous Hjelt

Filter Karous Hjelt merupakan *filter* yang dikembangkan dari konsep medan magnet yang berhubungan dengan aliran arus. *Filter* ini menghitung rapat arus pada kedalaman tertentu yang umumnya dikenal sebagai *Rapat Arus Ekuivalen* (RAE). Posisi rapat arus ini dapat digunakan untuk menginterpretasi lebar dan kemiringan sebuah benda anomali dengan kedalaman tertentu (Karous & Hjelt, 1983).

Hasil *Filter* Karous Hjelt memperlihatkan profil kedalaman dari rapat arus yang diturunkan dari nilai komponen vertikal medan magnet pada setiap titik pengukuran. Secara matematis *Filter* Karous Hjelt dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Karous & Hjelt, 1983):

$$H_0 = 0.102M_n - 0.059M_{n+1} + 0.561M_{n+2} - 0.561M_{n+4} + 0.059M_{n+5} - 0.102M_{n+6} \quad (23)$$

dimana H_0 adalah sinyal *output* hasil *Filter* Karous Hjelt dan M_n adalah data ke- n .

H. Rapat Arus Ekuivalen (RAE)

Rapat arus merupakan aliran muatan pada luas penampang tertentu di suatu titik penghantar (konduktor) yang disimbolkan dengan J . Rumus dari rapat arus adalah:

$$J = \frac{I}{A} \quad (24)$$

dimana J adalah rapat arus (A/m^2), I adalah kuat arus (A), dan A adalah luasan (m^2).

Rapat arus ekuivalen adalah arus yang menginduksi konduktor dan arus yang terkonsentrasi dalam konduktor dari daerah sekelilingnya yang kurang konduktif (Karous & Hjelt, 1983). Rapat arus ekuivalen dapat diperoleh dengan asumsi bahwa medan magnet yang dihasilkan oleh rapat arus identik dengan medan magnet yang diukur. Secara teori, kedalaman semu rapat arus ekuivalen dapat memberikan gambaran indikasi variasi konsentrasi arus untuk tiap-tiap kedalaman yang menandakan suatu bahan bersifat konduktif. Bahan yang memiliki rapat arus tinggi adalah bahan yang memiliki konduktivitas tinggi pula. Hubungan rapat arus dengan konduktivitas dan resistivitas ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{E}{\rho} = \sigma E \quad (25)$$

dimana ρ adalah resistivitas (Ωm), E adalah medan listrik (V/m), dan σ adalah konduktivitas ($\Omega^{-1}m^{-1}$).

Resistivitas (ρ) adalah kemampuan suatu bahan untuk menghambat arus listrik dalam suatu penghantar. Semakin besar resistivitas suatu bahan maka semakin kecil arus yang dapat melewati suatu konduktor. Konduktivitas adalah kebalikan dari resistivitas yang nilainya merupakan perbandingan antara rapat arus dengan medan listrik.

I. Sungai Bawah Tanah

Sungai bawah tanah adalah sungai yang mengalir sebagian atau seluruhnya di bawah permukaan tanah. Ciri dari sungai bawah tanah adalah permukaan air dan tepi sungai tidak terkena cahaya matahari. Sungai bawah tanah tidak sama dengan air tanah atau akuifer, dimana air yang mengalir ke dalam sungai bawah tanah tidak langsung seperti sungai permukaan melainkan melalui retakan kecil bebatuan atau pori-pori tanah (Woro *et al*, 1996).

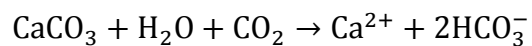
Sungai bawah tanah mengalir sama seperti sungai permukaan. Air sungai bawah tanah dapat berasal dari luar gua dimana air permukaan masuk ke mulut gua dan muncul di tempat lain yang bisa jadi jaraknya sangat jauh dari lokasi masuknya. Tempat keluarnya aliran sungai bawah tanah di kawasan karst disebut *resurgence* atau *karst spring*. Jika diinterpretasi melalui peta topografi, maka terlihat aliran sungai yang mengalir lalu terputus. Aliran tersebut biasa disebut *arus vadose* atau disebut juga aliran *allochthonous*. Aliran pada sungai bawah tanah juga bisa berasal dari gua itu sendiri dimana air yang berada di permukaan kawasan karst meresap masuk ke dalam kawasan karst tersebut, dan di dalam gua menjadi ribuan tetesan yang kemudian tertampung lalu mengalir dan membentuk sebuah aliran sungai. Aliran tersebut biasa disebut *percolation water* atau disebut juga aliran *autochthonous*.

J. Karst

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia yaitu *Kars* yang berarti lahan gersang berbatu. Karst secara umum adalah istilah bentang alam yang berkembang pada batuan karbonat dan mempunyai

bentuk berkelompok atau menjadi sebuah bentang alam. Pembentukan karst dipengaruhi oleh proses pelarutan yang sangat tinggi serta adanya proses karstifikasi (Kusumayudha, 2005).

Proses karstifikasi atau proses pembentukan kawasan karst didominasi oleh adanya proses pelarutan batuan yang mudah larut (misalnya batu gamping) oleh air hujan dalam waktu yang sangat lama. Proses pelarutan batu gamping (*limestone*) dirumuskan dengan reaksi kimia sebagai berikut (Eko & Tjahyo, 2004):



Proses karstifikasi dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi.

Faktor pengontrol dalam proses karstifikasi adalah sebagai berikut:

1. Batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan.

Batuan yang mengandung CaCO_3 tinggi seperti batu gamping akan mudah larut. Semakin tinggi kandungan kalsium karbonatnya maka semakin berkembang membentuk lahan karst. Kekompakan batuan menentukan kestabilan morfologi karst setelah mengalami pelarutan. Apabila batuan lunak, maka setiap kenampakan karst yang terbentuk akan cepat hilang karena proses pelarutan maupun proses erosi. Ketebalan menentukan terbentuknya sirkulasi air secara vertikal. Tanpa adanya sirkulasi vertikal, proses yang terjadi adalah aliran lateral seperti pada sungai permukaan. Rekahan batuan merupakan jalan masuknya air membentuk

drainase vertikal dan berkembangnya sungai bawah tanah serta pelarutan yang terkonsentrasi.

2. Curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun)

Curah hujan merupakan media pelarut utama dalam proses karstifikasi. Semakin besar curah hujan, semakin besar media pelarutnya sehingga tingkat pelarutan yang terjadi di batuan karbonat juga semakin besar.

3. Batuan terekspos di permukaan

Ketinggian batu gamping yang terekspos di permukaan menentukan perkembangan sirkulasi air atau drainase secara vertikal. Drainase vertikal akan terjadi apabila jarak antara permukaan batu gamping dengan muka air atau batuan dasar dari batu gamping semakin besar. Semakin tinggi permukaan batu gamping yang terlihat, semakin besar jarak antara permukaan batu gamping dengan muka air tanah sehingga sirkulasi air secara vertikal dan proses karstifikasi akan semakin baik.

Faktor pendorong dalam proses karstifikasi adalah sebagai berikut:

1. Temperatur

Temperatur mendorong proses karstifikasi terutama dalam kaitannya dengan aktivitas organisme. Temperatur juga menentukan evaporasi atau penguapan, semakin tinggi temperatur semakin besar evaporasi yang pada akhirnya akan menyebabkan rekristalisasi larutan karbonat. Adanya rekristalisasi ini akan membuat pengerasan permukaan sehingga bentuk lahan karst yang telah terbentuk dapat dipertahankan. Tingkat pelarutan di daerah tropis lebih tinggi karena ketersediaan air hujan yang melimpah dan aktivitas organisme yang lebih besar.

2. Penutupan hutan

Penutupan hutan mampu menyebabkan kandungan karbondioksida dalam tanah melimpah akibat dari hasil perombakan sisa-sisa organik (dahan, ranting, daun, bangkai binatang) oleh mikro organisme. Semakin besar konsentrasi CO₂ dalam air maka semakin tinggi daya larut air terhadap batu gamping. Proses karstifikasi sangat ditentukan oleh karbondioksida dari aktivitas organisme dalam tanah.

K. Kecamatan Semanu Kabupaten Gunungkidul

Gunungkidul merupakan kabupaten yang berada di Propinsi Yogyakarta bagian timur. Kabupaten Gunungkidul merupakan kabupaten terluas di Propinsi Yogyakarta atau 46,63 % dari keseluruhan luas wilayah Yogyakarta (Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, 2018). Batas wilayah Kabupaten Gunungkidul sebelah utara adalah Kabupaten Klaten dan Kabupaten Sukoharjo Propinsi Jawa Tengah, sebelah selatan adalah Samudera Hindia, sebelah barat adalah Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman, sedangkan sebelah timur adalah Kabupaten Wonogiri Propinsi Jawa Tengah.

Kabupaten Gunungkidul didominasi oleh pegunungan dan perbukitan. Morfologi pegunungan dan perbukitan tersebut menjadikan Gunungkidul memiliki tingkat undulasi yang tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh penggerusan endapan laut (karbonat) pada bagian utara dan selatan, serta endapan produk gunung api pada bagian tengahnya (Van Bemmelen, 1949). Topografi Kabupaten Gunungkidul secara garis besar dibagi menjadi 3 zona (Firzany, 2005) yaitu:

1. Zona Utara (Zona Batur Agung)

Zona ini memiliki ketinggian sekitar 200 m sampai 700 m di atas permukaan laut. Wilayah ini berpotensi untuk wisata alam perbukitan dan wisata geologi. Daerah yang termasuk wilayah ini adalah Kecamatan Patuk, Nglipar, Ngawen, Semin, Gedangsari bagian utara, dan Ponjong bagian utara.

2. Zona Tengah (Zona Ledok Wonosari)

Zona ini memiliki ketinggian 150 m sampai 200 m di atas permukaan laut. Wilayah ini berpotensi untuk wisata alam perbukitan, wisata geologi, dan ekowisata hutan. Daerah yang termasuk zona ini adalah wilayah Kecamatan Playen, Wonosari, Karangmojo, Semanu bagian utara, dan Ponjong bagian tengah.

3. Zona Selatan (Zona Pegunungan Seribu)

Zona ini memiliki ketinggian 100 m sampai 300 m di atas permukaan laut. Wilayah ini berpotensi untuk wisata pantai, wisata bahari, wisata geologi, dan ekowisata karst. Daerah yang termasuk zona ini adalah wilayah Kecamatan Tepus, Tanjungsari, Panggang, Purwosari, Paliyan, Saptosari, Girisubo, Rongkop, Semanu bagian selatan, dan Ponjong bagian selatan.

Daerah penelitian ini berada di Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. Luas wilayah Kecamatan Semanu adalah 108,39 km² yang terdiri dari 5 desa yaitu Desa Semanu, Ngeposari, Pacarejo, Candirejo, dan Dadapayu. Batas wilayah Kecamatan Semanu di sebelah utara adalah Kecamatan Karangmojo, sebelah timur adalah Kecamatan Ponjong, sebelah barat adalah Kecamatan Wonosari, dan sebelah selatan adalah Kecamatan Tepus (Pemerintah Kabupaten Gunungkidul, 2018).

Berdasarkan sensus penduduk tahun 2017, Kecamatan Semanu merupakan kecamatan paling luas di Kabupaten Gunungkidul yang menduduki peringkat ketiga untuk jumlah penduduk yaitu 51.737 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk 477 jiwa/km². Lahan di daerah Kecamatan Semanu dimanfaatkan sebagai lahan pertanian maupun non pertanian. Lahan pertanian terdiri dari lahan sawah dan non sawah. Lahan sawah di daerah Semanu sangat sempit yaitu 195 Ha, sedangkan lahan non sawah terdiri dari lahan tegalan atau ladang, hutan rakyat, dan pekarangan seluas 7.342 Ha (Umam, 2016). Hasil pertanian di Kecamatan Semanu sebagian besar adalah palawija berupa padi, jagung, kedelai, dan kacang. Lahan non pertanian di daerah ini adalah tempat tinggal, ruang terbuka hijau, akses transportasi, dan pabrik.

Keadaan hidrologi di daerah ini terdiri dari air permukaan dan air bawah permukaan. Air permukaan adalah air yang berada di atas permukaan tanah. Umumnya air permukaan di daerah ini berupa waduk dan sungai permukaan, namun sungai permukaan yang terdapat di daerah ini jarang dijumpai dan memiliki karakter debit yang kecil serta mudah kering pada musim kemarau panjang. Air bawah permukaan adalah sumber mata air yang berasal dari resapan air permukaan yang dapat berupa akuifer ataupun sungai bawah tanah Sismanto *et al.*, (2003).

Secara stratigrafi, daerah Semanu termasuk dalam Formasi Wonosari yang tersusun atas batu gamping terumbu (koral) yang menunjukkan kenampakan berlapis. Ciri yang spesifik pada formasi ini adalah porositas sekunder berupa rongga-rongga yang terbentuk dari hasil pelarutan mineral kalsit maupun dolomit. Daerah Semanu termasuk Zona Selatan dan Zona Tengah. Bagian utara daerah ini

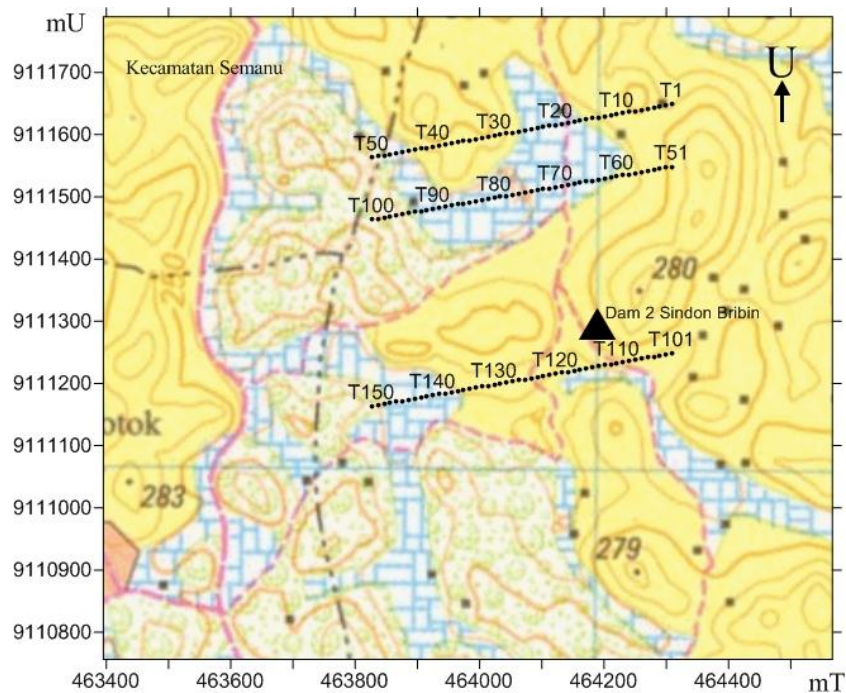
memiliki ketinggian antara 140 m sampai 190 m di atas permukaan laut, dan di bagian selatan ketinggiannya antara 100 m sampai 300 m di atas permukaan laut (Suharyadi, 1994). Beberapa kenampakan alam di daerah Semanu berupa luweng dan gua. Gua-gua besar yang ada di daerah ini adalah Gua Bribin, Gua Jomblang, Gua Grubug, dan Gua Seropan. Selain luweng dan gua, di daerah Semanu juga terdapat aliran sungai bawah tanah yang mempunyai debit besar antara lain Sungai Bawah Tanah Bribin, Sungai Bawah Tanah Seropan, dan sungai bawah tanah kecil lainnya. Sungai bawah tanah tersebut saling berhubungan hingga membentuk sistem saluran air yang pada akhirnya bermuara di laut selatan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data dilakukan secara langsung selama 2 hari yaitu pada 24 - 25 Oktober 2017. Lokasi pengambilan data berada di kawasan karst sekitar Dam 2 Sindon Bribin, Desa Dadapayu, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan studi pustaka, diskusi, dan survei lapangan di lokasi penelitian yang dimulai pada September 2017. Pengambilan data VLF dilakukan sebanyak 3 lintasan, dengan panjang setiap lintasan sejauh 500 meter. Lintasan 1 berada pada koordinat 8°2'11,55" LS – 8°2'14,31" LS dan 110°40'33,95" BT – 110°40'18,18" BT, lintasan 2 berada lebih selatan dari lintasan 1 yaitu pada koordinat 8°2'14,81 LS – 8°2'17,56 LS dan 110°40'33,95 BT – 110°40'18,18" BT, sedangkan lintasan 3 berada lebih selatan dari lintasan 2 yaitu pada koordinat 8°2'24,57 LS – 8°2'27,330 LS dan 110°40'33,94 BT – 110°40'18,17 BT. Dalam satu lintasan terdapat 50 titik pengukuran dengan jarak antar titik pengukuran sejauh 10 meter. Jarak lintasan 1 dengan lintasan 2 sejauh 100 meter, sedangkan jarak lintasan 2 dengan lintasan 3 sejauh 300 meter. Kemiringan sudut yang digunakan adalah N80E dan frekuensi pemancar yang digunakan dalam pengukuran sebesar 19.800 Hz. Referensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian sebelumnya di Desa Dadapayu oleh Sismanto *et al.*, (2003), Parera (2008), dan Febria (2009). Desain survei penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Survei Pengambilan Data

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan perangkat yang berkaitan dengan penggunaan komputer. Perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

- Google Earth*, digunakan untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data sekaligus membuat desain survei.
- Global Mapper 13*, digunakan untuk memasukkan koordinat pengambilan data ke perangkat GPS, menggabungkan peta, dan mengubah format .kmz agar titik koordinat dapat dibuka pada *Google Earth*.
- Surfer 12*, digunakan untuk membuat desain survei dan membuat kontur karakteristik kedalaman Sungai Bawah Tanah Bribin.

- d. *Microsoft Excel* 2013, digunakan untuk mengolah data VLF baik berupa *tilt* maupun eliptisitas.
- e. *Rockwork* 15, digunakan untuk *modeling* bawah permukaan pada titik penelitian secara 2D maupun 3D.

2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Satu set T-VLF merek IRIS Instruments seri N132, digunakan untuk mengukur parameter sudut *tilt* dan eliptisitas yang ditunjukkan pada Gambar 8. Parameter tersebut merupakan pengukuran komponen *in-phase* dan *out-of phase* medan magnet vertikal terhadap komponen horizontalnya sehingga mendapatkan data seperti *tilt* (%), eliptisitas (%), ***H*** ver, dan ***H*** hor.



Gambar 8. Satu Set T-VLF merek IRIS Instruments model VLF seri N132

- b. Baterai merek ABC *Super Power* ukuran D 1.5 Volt sebanyak enam buah baterai (untuk pemakaian 8 jam).

- c. Meteran, digunakan untuk mengukur spasi antar titik, panjang lintasan, dan jarak antar lintasan.
- d. Kompas geologi dan *Global Positioning System* (GPS). Kompas digunakan untuk pengukuran arah dan besar sudut lintasan, sedangkan GPS dengan merek Garmin seri 78s digunakan untuk mengetahui posisi koordinat titik ukur dan elevasi yang ditunjukkan pada Gambar 9.



(a)



(b)

Gambar 9. (a) Kompas Geologi (b) GPS Garmin Seri 78s

C. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Adapun prosedur pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Persiapan Penelitian

Sebelum melakukan pengambilan data elektromagnet VLF dilakukan beberapa persiapan penelitian yang meliputi:

- a. Studi literatur, yaitu mempelajari teori yang berhubungan dengan sungai bawah tanah dan jurnal-jurnal penelitian mengenai metode elektromagnet *Very Low Frequency* (VLF) khususnya yang berada di Kabupaten Gunungkidul.

- b. Melakukan survei lapangan, yaitu survei awalan yang dilakukan di daerah Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi dan mencari informasi daerah penelitian. Informasi yang didapat dari survei lapangan dapat berupa keadaan geologi, data bor, peta, dan koordinat lapangan yang diambil secara langsung menggunakan GPS.
- c. Membuat surat izin penelitian yang ditujukan ke BAPPEDA Gunungkidul dan Kecamatan Semanu.
- d. Membuat desain survei lokasi penelitian yang selanjutnya dilakukan survei lokasi pengambilan data VLF. Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui keadaan lokasi dan medan yang harus dilalui, sehingga dapat mengefisienkan waktu saat pengambilan data. Desain survei dibuat dengan jarak spasi sejauh 10 meter dan sudut N80E. Hal ini bertujuan agar titik pengambilan data tegak lurus dengan *transmitter* terdekat, yaitu *transmitter* North West Cape (NWC) Australia. Pembuatan desain survei yang akan digunakan untuk pengambilan data diawali dengan memasukkan data koordinat yang sebelumnya telah diketahui dari survei lapangan. Data koordinat tersebut dimasukkan ke dalam gambar peta Sungai Bawah Tanah Bribin menggunakan *software Global Mapper13*. Dari *software Global Mapper 13* akan diperoleh gambar peta dalam format *file *.TIFF*, kemudian dari *file* tersebut dicari seluruh koordinat Sungai Bawah Tanah Bribin dengan cara melakukan *digitize* di sepanjang jalur sungai menggunakan *software Surfer 12*. Seluruh koordinat sungai yang telah didapat selanjutnya dilakukan *overlay* menggunakan *software Google Earth*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui posisi sungai bawah tanah jika dilihat dengan

satelit. Langkah selanjutnya membuat titik koordinat lintasan menggunakan *Microsoft Excel* yang kemudian disimpan dalam format *file* .txt, dengan begitu *file* koordinat tersebut juga dapat dibuka dengan *software Global Mapper*¹³. Selain itu *file* juga dapat disimpan dalam format *file* .kmz atau .kml, sehingga memudahkan untuk dibuka kembali dengan *software Google Earth*. Titik koordinat (*longitude* dan *latitude*) yang telah dibuat untuk desain survei kemudian dioverlay pada peta RBI Kecamatan Semanu menggunakan *software Surfer* 12. Hasil desain survei ditunjukkan pada Gambar 7. Koordinat desain survei kemudian dimasukkan dalam GPS yang berfungsi sebagai *navigator* untuk menemukan titik yang dituju.

- e. Membuat tabel data atau *worksheet* pengambilan data.
- f. Menyiapkan sekaligus mengecek kondisi alat dan bahan yang digunakan dalam pengambilan data.

2. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Menuju titik pertama pada lintasan pertama dengan bantuan navigasi GPS. Titik pertama berada di sebelah utara Dam 2 Sindon Bribin. Lintasan 1 membentang dari timur hingga barat, begitu juga untuk lintasan 2, dan lintasan 3. Pengambilan data dimulai dari timur dan berakhir di barat.
- b. Menyalakan T-VLF dengan cara menekan tombol [ON].
- c. Memasukkan beberapa parameter, yaitu nama stasiun pemancar, frekuensi pemancar, spasi, dan nomor lintasan melalui tombol [SET UP].

- d. Setelah semuanya terisi, kemudian memulai pengukuran dengan menekan tombol [START].
- e. Apabila beberapa pengukuran di titik tersebut dianggap cukup atau dalam hal ini hingga tiga kali pengulangan, tekan [START] lagi untuk berhenti. (Tombol START seperti tombol saklar atau *toggle*).
- f. Memasukkan hasil data pengukuran ke tabel data pengukuran atau *worksheet*.
- g. Matikan T-VLF dengan menekan tombol [OFF].
- h. Membentangkan meteran sejauh 10 m dari titik pertama dan mempersiapkan sudutnya sebesar 80° dengan kompas geologi dilanjutkan melakukan pengukuran di posisi tersebut (titik kedua).
- i. Mengulangi langkah d sampai h untuk setiap titik pengukuran yang lain.

Tabel 1. Parameter Akuisisi Data VLF

| Parameter | Nilai Parameter |
|---------------------------------------|---|
| Jumlah lintasan | 3 lintasan |
| Panjang lintasan | 500 m |
| Spasi titik pengukuran | 10 m |
| Jumlah titik pengukuran tiap lintasan | 50 titik |
| Frekuensi pemancar | 19.800 Hz (NWC) |
| Data terukur | <i>Tilt</i> , eliptisitas, <i>H</i> hor, dan <i>H</i> ver |
| Spasi antar lintasan | 100 m dan 300 m |

3. Pengolahan data

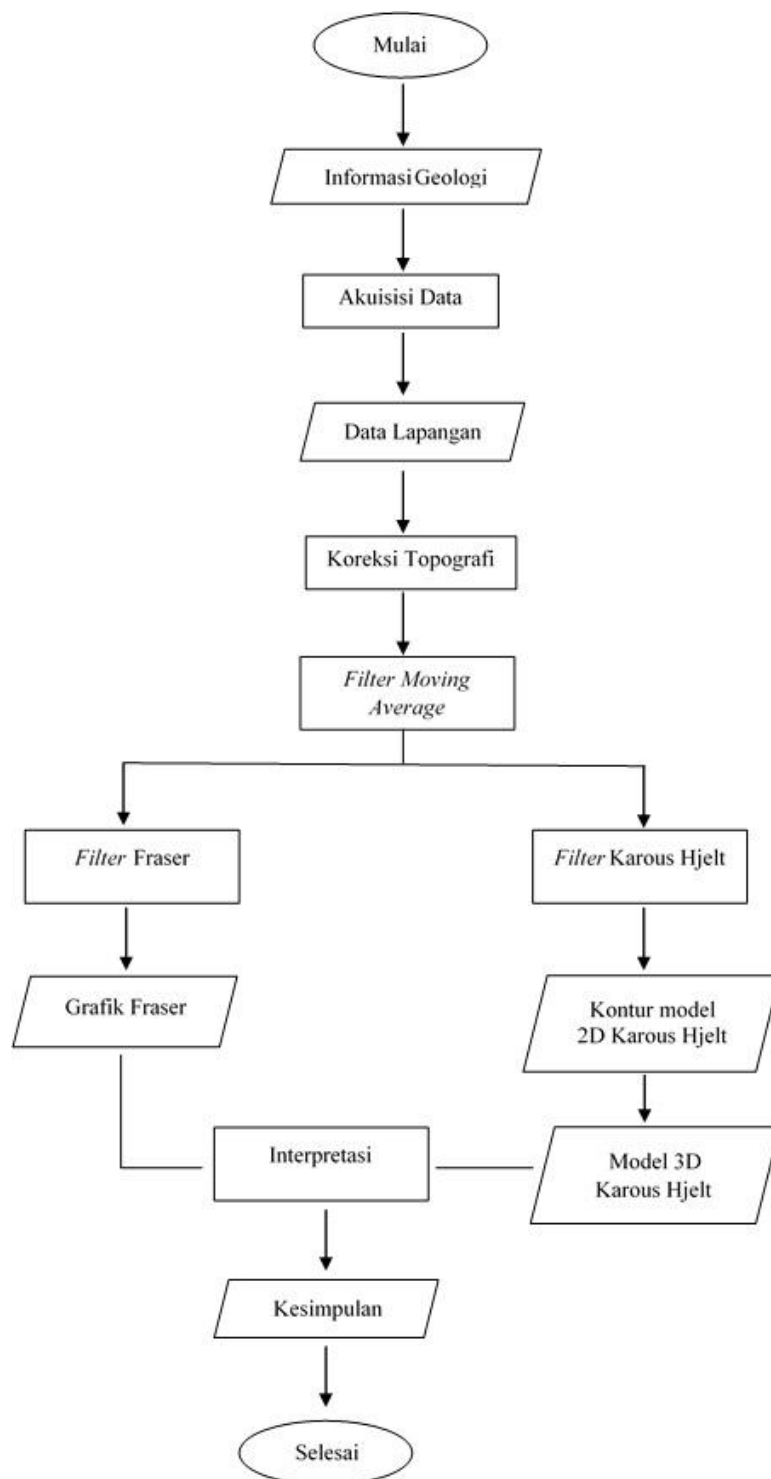
Pengolahan data dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Memasukkan data yang sudah didapat di lapangan (*longitude*, *latitude*, jarak, waktu, *tilt*, eliptisitas, dan elevasi) pada *Microsoft Excel*.
- b. Menghitung koreksi topografi Baker Myers dari setiap titik pengukuran. Koreksi ini digunakan untuk mengurangi pengaruh topografi terhadap hasil data di titik pengukuran.

- c. Melakukan *Filter Moving Average*. *Filter* ini digunakan untuk memisahkan *noise* bersifat lokal pada saat pengambilan data.
- d. Membuat grafik hubungan jarak dengan *tilt* dan eliptisitas, grafik ini memperlihatkan adanya perbedaan anomali yang lebih konduktif ataupun resistif.
- e. Melakukan *Filter Fraser*, *filter* ini digunakan untuk memfokuskan anomali yang tersebar hingga akhirnya terkumpul dan lebih jelas.
- f. Membuat grafik hubungan jarak dengan *tilt* sesudah dilakukan *Filter Fraser*. Grafik ini dapat memperjelas *Filter Moving Average* untuk menginterpretasi daerah yang lebih konduktif atau resistif.
- g. Menghitung *Rapat Arus Ekuivalen* (RAE) dengan *Filter Karous Hjelt*. Dari *Filter Karous Hjelt* akan didapatkan nilai RAE pada kedalaman tertentu.
- h. Memodelkan profil bawah permukaan secara 2D menggunakan *software Surfer 12* dengan *input* data jarak, kedalaman, dan RAE.
- i. Membuat *solid model* 3D profil bawah permukaan dengan *software Rockwork 15* lalu melakukan penyayatan model (*slice model*) serta *iso-leveling*.

D. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data lapangan dilakukan di Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Wilayah tersebut merupakan bagian dari daerah Karst Gunungsewu yang dicirikan dengan terdapatnya luweng, gua, bukit, dan sungai bawah tanah yang tersusun dari batu gamping. Bagi masyarakat yang tinggal di daerah tersebut, sungai bawah tanah memiliki peranan sangat penting untuk penyediaan air. Sungai bawah tanah dapat membantu untuk mencukupi kebutuhan air khususnya pada musim kemarau. Sungai bawah tanah yang berada di daerah penelitian ini adalah Sungai Bawah Tanah Bribin dengan debit minimum yang terukur di musim kemarau sekitar $1,5 \text{ m}^3/\text{det}$ dan pada musim penghujan debit puncak dapat mencapai lebih dari $2 \text{ m}^3/\text{det}$ (Haryono & Adji, 2004).

Bentangan alam daerah penelitian berupa kawasan perbukitan karst. Oleh karena itu pengambilan data menggunakan metode VLF-EM dengan mode *tilt angle* yang merupakan salah satu metode yang efektif untuk diterapkan di lokasi tersebut. Lokasi penelitian berada di desa Dadapayu, Kecamatan Semanu atau lebih tepatnya di utara Dam 2 Sindon Bribin. Pengambilan data penelitian ini dilakukan sebanyak 3 lintasan yang dimulai dari timur dan berakhir di barat, sehingga dalam interpretasi untuk jarak menggunakan tanda - (minus). Penggunaan tanda minus dilakukan agar memudahkan saat interpretasi hasil penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan dan kedalaman Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin serta menentukan arah dan jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin. Parameter yang diperoleh pada saat pengukuran yaitu data posisi koordinat (*longitude* dan *latitude*), ketinggian (elevasi), *tilt* (α dalam %), dan eliptisitas (ϵl dalam %). *Tilt* adalah sudut yang dibentuk oleh sumbu mayor dengan sumbu horizontal pada polarisasi *ellips*, sedangkan eliptisitas merupakan perbandingan sumbu minor dengan sumbu mayor dari polarisasi tersebut.

Tilt dan eliptisitas merupakan dua parameter yang saling berhubungan. Informasi yang diperoleh dari nilai *tilt* dan eliptisitas merepresentasikan kondisi geologi setempat yang lebih konduktif atau lebih resistif. Interpretasi nilai *tilt* dan eliptisitas terhadap geologi lokal daerah penelitian didasarkan pada nilai *Rapat Arus Ekuivalen* (RAE). Secara teori nilai RAE mampu menggambarkan kondisi fisik struktur bawah permukaan di suatu daerah dengan menginterpretasi rapat arus untuk setiap kedalaman. Struktur bawah permukaan yang memiliki nilai RAE tinggi menandakan konduktivitasnya tinggi. Pada penelitian ini, struktur bawah permukaan yang memiliki konduktivitas tinggi merupakan mineral yang mampu menampung air bawah tanah sehingga mempunyai sifat konduktif. Konduktivitas daerah penelitian dipengaruhi oleh material struktur bawah permukaannya.

Pada saat pengambilan data penelitian masih terdapat beragam *noise*. *Noise* tersebut terjadi karena gangguan medan elektromagnet di sekitar daerah penelitian akibat adanya bahan konduktif yang mampu menciptakan medan magnet maupun medan listrik baru seperti pipa besi saluran air, kabel listrik, atau cuaca yang kurang

mendukung. Pada penelitian ini masing-masing lintasan terdapat *noise* yang mengganggu pengambilan data.

Di lintasan 1 terdapat *noise* pada jarak 170 m dari titik pengambilan data pertama, *noise* tersebut disebabkan oleh pipa besi saluran air dengan diameter 15 cm dan jarak pipa terhadap titik pengukuran kurang lebih sejauh 3 m. Di lintasan 2 terdapat *noise* pada jarak 180 m dari titik pengambilan data pertama. *Noise* pada lintasan 2 disebabkan oleh pipa besi saluran air dengan diameter 15 cm dan jarak pipa terhadap titik pengambilan data sejauh 3 m. Pipa besi saluran air tersebut merupakan keberlanjutan (*continuity*) dari pipa besi saluran air pada lintasan 1. Di lintasan 3 terdapat *noise* pada jarak 110 m dan 270 m dari titik pengambilan data pertama. *Noise* pada lintasan 3 disebabkan oleh tiang besi di Kantor Bribin 2 dan pipa besi saluran air dengan diameter 30 cm yang berada di depan Kantor Bribin 2.

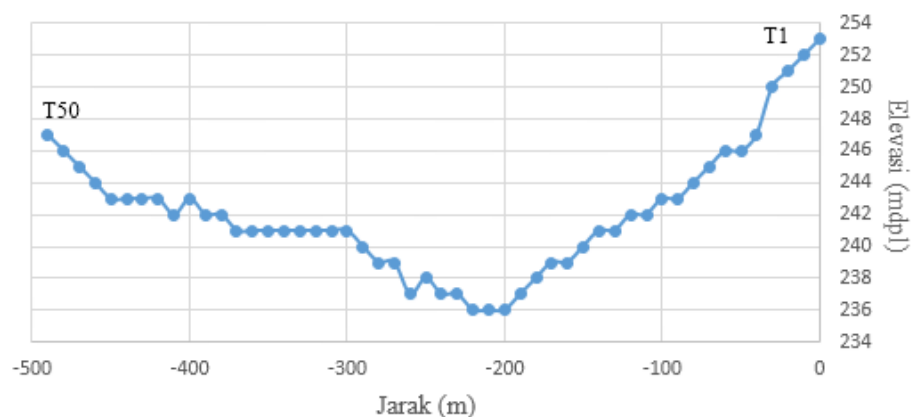
Untuk mereduksi *noise* yang mempengaruhi data penelitian maka dilakukan *filter*. Dalam hal ini, *filter* merupakan proses *smoothing* data. Tahap pengolahan data VLF pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan perhitungan koreksi topografi, *Filter Moving Average*, *Filter Fraser*, dan *Filter Karous Hjelt* yang kemudian akan dibuat model bawah permukaan dalam bentuk 2D maupun 3D.

A. Koreksi Topografi

Koreksi topografi digunakan untuk mereduksi pengaruh ketinggian (elevasi) yang tidak sama atau berundulasi terhadap data hasil penelitian. Pada penelitian ini, nilai elevasi dinyatakan dalam satuan meter di atas permukaan laut (mdpl). Perbedaan nilai elevasi akan menghasilkan perbedaan nilai koreksi

topografi. Pada penelitian ini koreksi topografi yang digunakan adalah koreksi topografi Baker Myers.

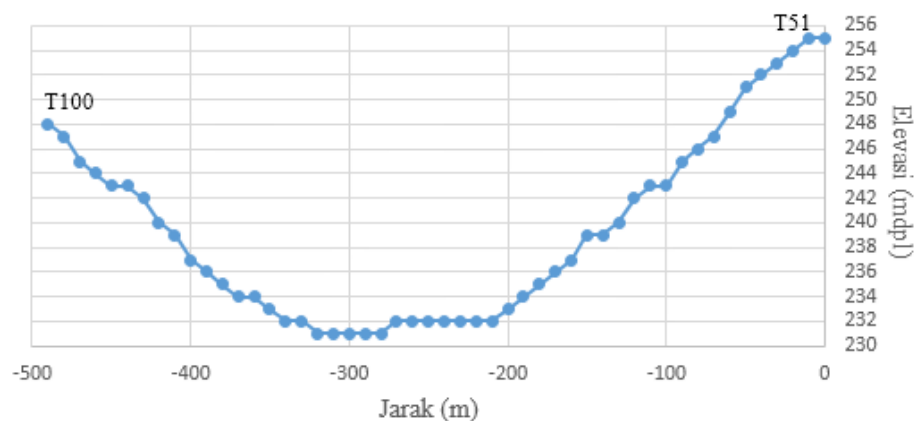
Elevasi tertinggi lintasan 1 sebesar 253 mdpl yang berada di titik awal pengambilan data (T1), sedangkan elevasi terendah sebesar 236 mdpl berada pada titik T21, T22, dan T23 yang berjarak 200 m, 210 m, dan 220 m dari titik pengambilan data pertama. Grafik hubungan jarak dan elevasi ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasarkan elevasi tersebut, didapatkan nilai koreksi topografi lintasan 1 sebesar 2% dan 4%. Nilai koreksi topografi sebesar 2% untuk titik T24 sampai T50 yang berjarak 230 m sampai 490 m dari titik pengambilan data pertama. Nilai koreksi topografi sebesar 4% untuk titik T1 sampai T23 yang berjarak 0 m sampai 220 m dari titik pengambilan data pertama.



Gambar 11. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi pada Lintasan 1

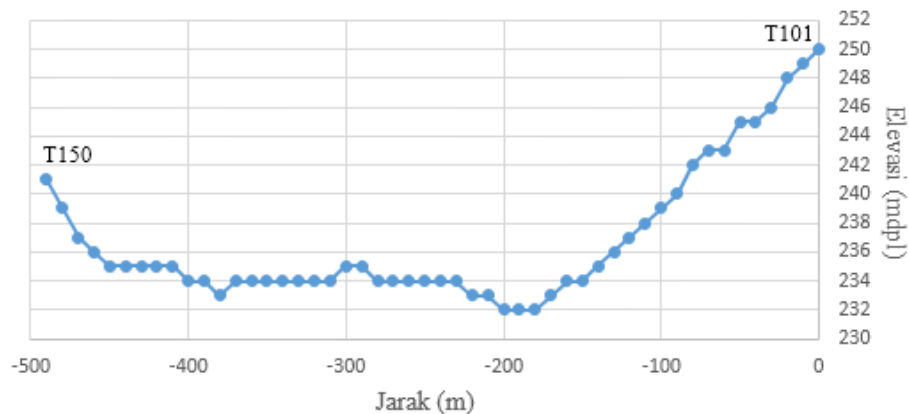
Elevasi tertinggi lintasan 2 sebesar 255 mdpl yang berada pada titik pengambilan data pertama dan 10 m setelah titik pengambilan data pertama. Elevasi terendah sebesar 231 mdpl yang berada pada titik T79 dan T83 yang berjarak 280 m sampai 320 m dari titik pengambilan data pertama. Grafik hubungan jarak dengan elevasi lintasan 2 ditunjukkan pada Gambar 12. Berdasarkan nilai elevasi tersebut,

didapatkan nilai koreksi topografi lintasan 2 sebesar 5% dan 6%. Nilai koreksi topografi sebesar 5% untuk titik T51 sampai T83 yang berjarak 0 m sampai 320 m dari titik pengambilan data pertama. Nilai koreksi topografi sebesar 6% untuk titik T84 dan T100 yang berjarak 330 m sampai 490 m dari titik pengambilan data pertama.



Gambar 12. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi Pada Lintasan 2

Elevasi tertinggi lintasan 3 sebesar 250 mdpl yang berada pada titik T101 yang merupakan titik pengambilan data pertama, sedangkan elevasi terendah sebesar 232 mdpl yang berada pada titik T119 sampai T121 yang berjarak 180 m sampai 200 m dari titik pengambilan data pertama. Grafik hubungan jarak dengan elevasi lintasan 3 ditunjukkan pada Gambar 13. Berdasarkan nilai elevasi tersebut, nilai koreksi topografi lintasan 3 sebesar 1% dan 5%. Nilai koreksi topografi sebesar 1% untuk titik T122 sampai T150 yang berjarak 210 m sampai 490 m dari titik pengambilan data pertama. Nilai koreksi topografi sebesar 5% untuk titik T101 sampai T121 yang berjarak 0 m sampai 200 m dari titik pengambilan data pertama.



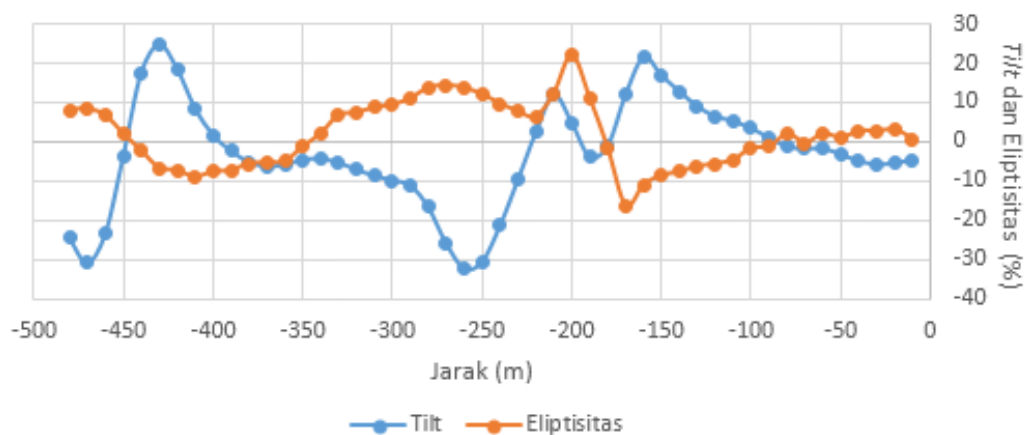
Gambar 13. Grafik Hubungan Jarak dan Elevasi pada Lintasan 3

B. *Filter Moving Average*

Filter pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Filter Moving Average*. *Filter* ini digunakan untuk memisahkan *noise* lokal saat pengambilan data, sehingga data yang dihasilkan lebih halus. Data yang difilter menggunakan *Filter Moving Average* adalah data *tilt* dan eliptisitas. Penelitian ini menggunakan *Filter Moving Average* orde 3. Hasil dari *Filter Moving Average* digambarkan dengan grafik hubungan jarak dengan *tilt* dan eliptisitas. Grafik persilangan antara nilai *tilt* dan eliptisitas menginterpretasikan daerah konduktif sebagai respon dari anomali. Persilangan penanda konduktor yang baik memiliki pola persilangan nilai *tilt* dari polaritas positif menuju negatif, sedangkan untuk nilai eliptisitas dari polaritas negatif menuju positif. Grafik *tilt* ditunjukkan dengan warna biru sedangkan grafik eliptisitas ditunjukkan dengan warna *orange*.

Grafik hubungan jarak dengan *tilt* dan eliptisitas sesudah *Filter Moving Average* pada lintasan 1 ditunjukkan oleh Gambar 14. Berdasarkan grafik pada Gambar 14 diketahui bahwa persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif yang tinggi terdapat pada 3 zona. Zona pertama berada pada jarak 160 m

sampai 190 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* dan eliptisitas berada pada jarak 180 m. Zona kedua berada pada jarak 210 m sampai 260 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* dan eliptisitas berada pada jarak 220 m. Zona ketiga berada pada jarak 430 m sampai 470 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* dan eliptisitas berada pada jarak 450 m.

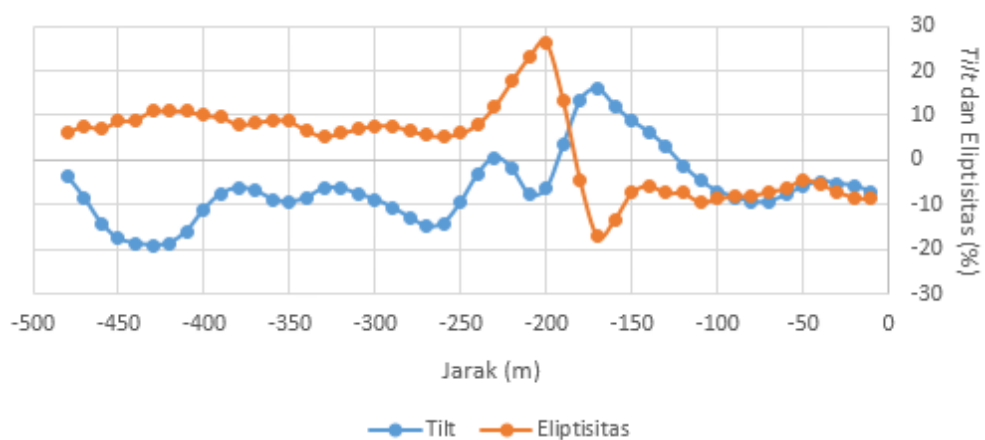


Gambar 14. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan *Tilt* (%) dan Eliptisitas (%) sesudah *Filter Moving Average* pada Lintasan 1

Jarak 10 m sampai 160 m dari titik pengambilan data pertama merupakan anomali resistif, pada jarak tersebut tidak ada persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* semakin membesar hingga 22%, sedangkan nilai eliptisitas mengecil hingga -12%. Begitu pula pada jarak 260 m sampai 430 m dari titik pengambilan data pertama, pada jarak tersebut tidak ada persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* membesar hingga 25% sedangkan nilai eliptisitas mengecil hingga -10%.

Grafik hubungan jarak dengan *tilt* dan eliptisitas sesudah *Filter Moving Average* pada lintasan 2 ditunjukkan oleh Gambar 15. Berdasarkan grafik pada

Gambar 15 diketahui bahwa persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif yang tinggi terdapat pada 2 zona. Zona pertama berada pada jarak 40 m sampai 70 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* dan eliptisitas berada pada jarak 50 m. Zona kedua berada pada jarak 170 m sampai 210 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* dan eliptisitas berada pada jarak 180 m.

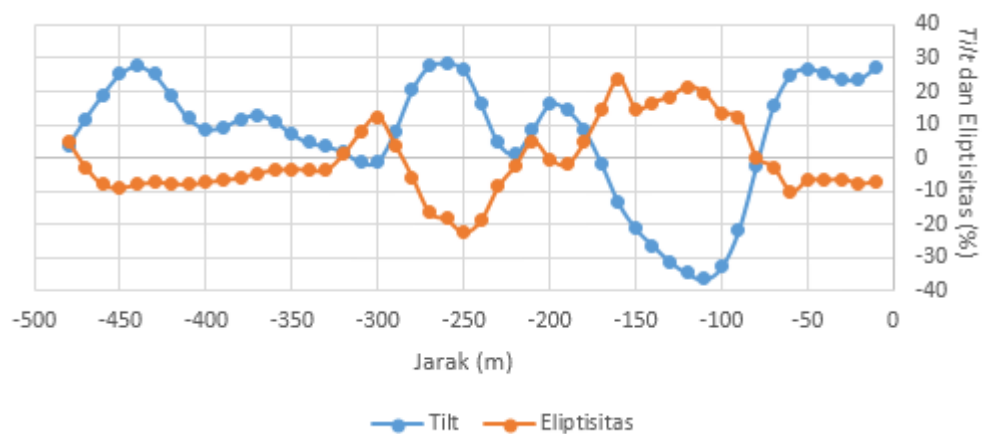


Gambar 15. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan *Tilt* (%) dan Eliptisitas (%) sesudah *Filter Moving Average* pada Lintasan 2

Jarak 70 m sampai 170 m dari titik pengambilan data pertama merupakan anomali resistif, pada jarak tersebut tidak ada persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* membesar hingga 17%, sedangkan nilai eliptisitas mengecil hingga -18%. Begitu pula pada jarak 210 m sampai 480 m tidak dijumpai persilangan nilai *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif, namun pada rentang jarak tersebut terdapat perubahan nilai *tilt* dan eliptisitas yang tidak signifikan (membesar atau mengecil).

Grafik hubungan jarak dengan *tilt* dan eliptisitas sesudah *Filter Moving Average* pada lintasan 3 ditunjukkan oleh Gambar 16. Berdasarkan grafik pada

Gambar 16 diketahui bahwa persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif yang tinggi terdapat pada 3 zona. Zona pertama berada pada jarak 50 m sampai 110 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* berada pada jarak 80 m. Zona kedua berada pada jarak 200 sampai 220 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* berada pada jarak 210 m. Zona ketiga berada pada jarak 270 m sampai 300 m dari titik pengambilan data pertama, dimana persilangan *tilt* berada pada jarak 290 m.



Gambar 16. Grafik Hubungan Jarak (m) dengan *Tilt* (%) dan Eliptisitas (%) sesudah *Filter Moving Average* pada Lintasan 3

Anomali resistif terdapat pada jarak 10 m sampai 50 m dari titik pengambilan data pertama. Pada jarak tersebut tidak terjadi persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif. Pada jarak 110 m sampai 200 m dari titik pengambilan data pertama tidak terdapat persilangan nilai *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* membesar hingga 18% sedangkan nilai eliptisitas mengecil hingga -2%. Pada jarak 220 m sampai 260 m dari titik pengambilan data pertama tidak terjadi persilangan nilai *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* membesar hingga 28% sedangkan nilai

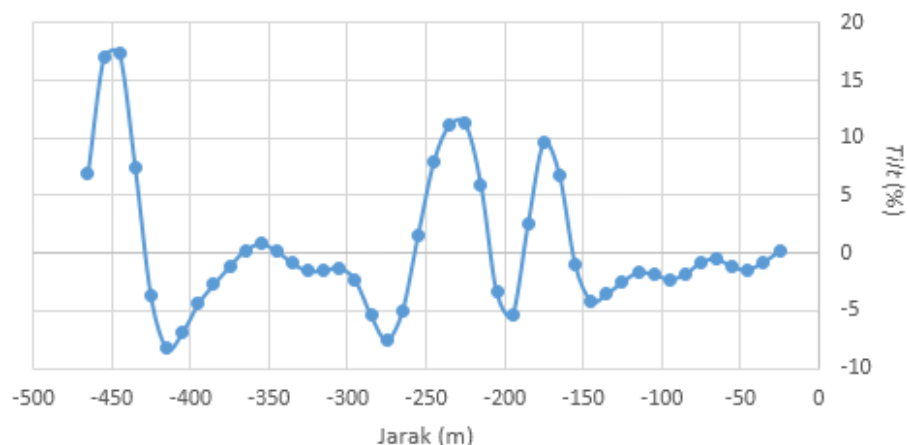
eliptisitas mengecil hingga -22%. Pada jarak 300 m sampai 440 m dari titik pengambilan data pertama tidak terjadi persilangan *tilt* dan eliptisitas sebagai penanda anomali konduktif dan nilai *tilt* semakin membesar hingga 28%, sedangkan nilai eliptisitas semakin mengecil hingga -10 %. Pada jarak 440 m sampai 480 m dari titik pengambilan data pertama terdapat *tilt* yang semakin mengecil dan eliptisitas semakin membesar dan terlihat persilangan *tilt* dan eliptisitas pada jarak 480 m namun belum diketahui kelanjutan polaritas *tilt* dan eliptisitas grafik tersebut.

C. *Filter Fraser*

Filter kedua yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Filter Fraser*. *Filter Fraser* berguna untuk memperjelas anomali yang tadinya tersebar setelah menggunakan *Filter Moving Average*, agar lebih terkonsentrasi. Anomali konduktif dapat dilihat dari grafik hubungan jarak dengan *tilt* sesudah *Filter Fraser*. Grafik nilai *tilt* hasil *Filter Fraser* yang tinggi mencerminkan adanya anomali konduktif yang tinggi juga. Nilai *tilt* hasil *Filter Fraser* yang tinggi ditunjukkan dengan perbedaan *peak* minimum yaitu sebelum mengalami kenaikan dengan *peak* maksimum yaitu sesudah mengalami kenaikan. Apabila nilai *tilt* tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan maka daerah tersebut merupakan daerah resistif atau tidak memiliki perbedaan yang mencolok dengan daerah di sekitarnya.

Grafik hubungan jarak dengan *tilt* sesudah *Filter Fraser* pada lintasan 1 ditunjukkan oleh Gambar 17. Berdasarkan grafik pada Gambar 17 diketahui bahwa benda yang memiliki perbedaan nilai *tilt* tinggi hanya berada pada 2 zona. Zona pertama berada pada jarak 150 m sampai 200 m dari titik pengambilan data pertama

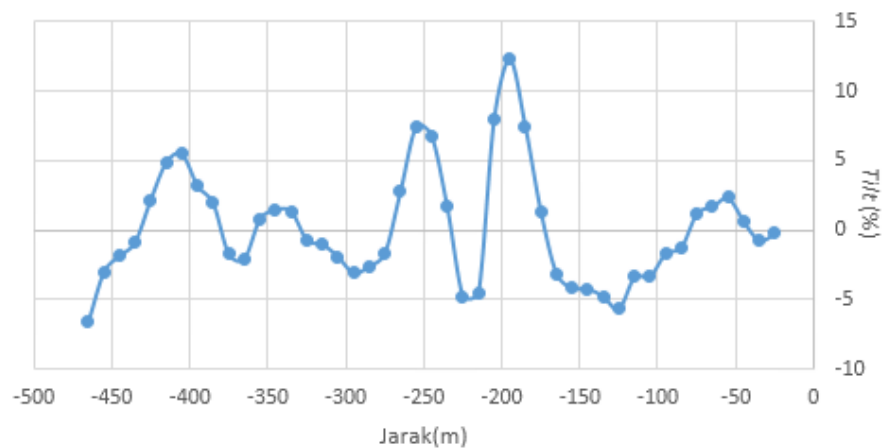
dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 180 m dan zona kedua berada pada jarak 200 m sampai 275 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 230 m. Perbedaan *tilt* sesudah *Filter* Fraser yang bernilai tinggi sebagai anomali benda konduktif yang pertama sebesar 14% (-4% sampai 10%) dan kedua sebesar 17% (-5% sampai 12%). Jarak 450 m dari titik pengambilan data pertama tidak dapat dikatakan sebagai anomali target dari benda berkonduktivitas tinggi, karena pada titik tersebut belum diketahui mengenai keberlanjutan grafik. Perbedaan nilai *tilt* yang selebihnya berada di bawah nilai puncak, hal ini menunjukkan daerah yang lebih resistif.



Gambar 17. Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* sesudah *Filter* Fraser pada Lintasan 1

Grafik hubungan jarak dengan *tilt* sesudah *Filter* Fraser pada lintasan 2 ditunjukkan oleh Gambar 18. Berdasarkan grafik pada Gambar 18 diketahui bahwa benda yang memiliki perbedaan nilai *tilt* tinggi hanya berada pada 2 zona. Zona pertama berada pada jarak 160 m sampai 225 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 190 m dan zona kedua berada pada jarak 225 m sampai 300 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt*

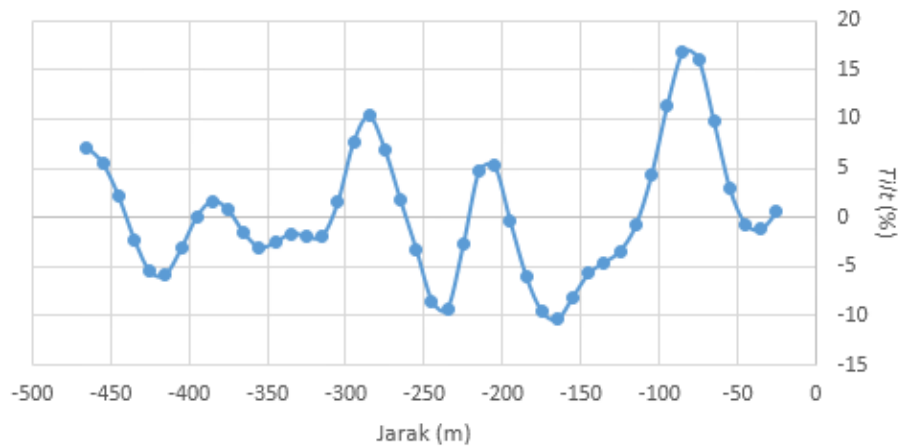
berada pada jarak 250 m. Perbedaan *tilt* sesudah *Filter* Fraser yang bernilai tinggi sebagai anomali benda konduktif yang pertama sebesar 17% (-4% sampai 13%) dan kedua sebesar 12% (-5% sampai 7%). Perbedaan nilai *tilt* yang selebihnya berada di bawah nilai puncak, hal ini menunjukkan daerah yang lebih resistif.



Gambar 18. Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* sesudah *Filter* Fraser pada Lintasan 2

Grafik jarak dengan *tilt* sesudah *Filter* Fraser pada lintasan 3 ditunjukkan oleh Gambar 19. Berdasarkan grafik pada Gambar 17 diketahui bahwa benda yang memiliki perbedaan nilai *tilt* tinggi hanya berada pada 3 zona. Zona pertama berada pada jarak 40 m sampai 160 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 80 m. Zona kedua berada pada jarak 160 m sampai 240 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 210 m. Zona ketiga berada pada jarak 240 m sampai 310 m dari titik pengambilan data pertama dimana nilai puncak *tilt* berada pada jarak 280 m. Perbedaan *tilt* sesudah *Filter* Fraser yang bernilai tinggi sebagai anomali benda konduktif yang pertama sebesar 19% (-2% sampai 17%), kedua sebesar 15% (-10% sampai 5%), dan ketiga sebesar 20% (-10% sampai 10%). Perbedaan nilai *tilt* yang

selebihnya berada di bawah nilai puncak, hal ini menunjukkan daerah yang lebih resistif.



Gambar 19. Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* sesudah *Filter* Fraser pada Lintasan 3

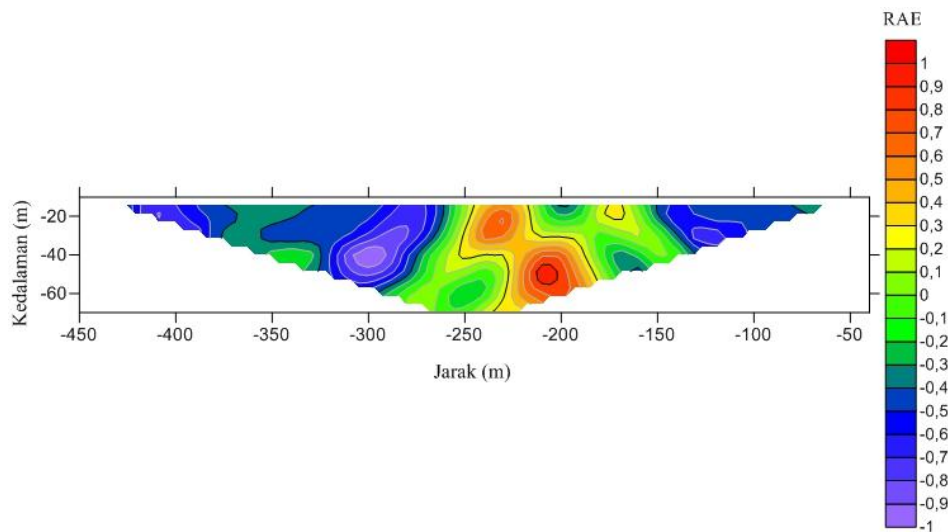
D. *Filter* Karous Hjelt

Filter ketiga yang digunakan adalah *Filter* Karous Hjelt. *Filter* ini digunakan untuk mengetahui nilai *Rapat Arus Ekuivalen* (RAE) berdasarkan data *tilt* hasil *Filter Moving Average*. Nilai RAE dihitung pada setiap kedalaman tertentu. Penelitian ini menggunakan ordo *filter* sebesar 7 dan didapatkan nilai RAE hingga kedalaman 70 m di bawah permukaan. Nilai RAE yang lebih besar menandakan daerah yang lebih konduktif dari sekitarnya dan begitu pula sebaliknya. Hasil dari *Filter* Karous Hjelt dimodelkan dalam bentuk 2D dengan *input* data jarak, kedalaman, dan nilai RAE yang telah ternormalisasi. Normalisasi RAE dilakukan untuk memberikan skala yang sama pada saat pemodelan dari ketiga lintasan.

Hasil *output* dari model 2D yang telah ternormalisasi ditampilkan dalam skala -1 hingga +1 yang ditunjukkan dengan degradasi warna yaitu warna ungu

hingga merah. Nilai RAE berbanding lurus dengan konduktivitas. RAE bernilai positif menandakan daerah tersebut bersifat konduktif yang divisualisasikan dengan warna kuning hingga merah. Begitupula RAE yang bernilai negatif menandakan daerah tersebut bersifat resistif dan divisualisasikan dengan warna hijau hingga ungu. Daerah berkonduktivitas tinggi (paling konduktif) yang bersesuaian dengan RAE tinggi yaitu bernilai 0,4 sampai 1 divisualisasikan dengan warna *orange* hingga merah. Daerah berkonduktivitas rendah (paling resistif) yang bersesuaian dengan RAE rendah yaitu bernilai -0,4 sampai -1 divisualisasikan dengan warna biru hingga ungu.

Plot nilai RAE pada lintasan 1 ditunjukkan oleh Gambar 20. Berdasarkan gambar tersebut RAE bernilai positif terdapat pada jarak 180 m sampai 250 m dari titik pengambilan data pertama. Pada rentang jarak tersebut terdapat dua anomali bawah permukaan yang memiliki RAE tinggi. Anomali pertama yaitu pada jarak 240 m dari titik pengambilan data pertama dengan lebar anomali 30 m dan kedalaman 30 m di bawah permukaan. Ketika di lapangan daerah tersebut berada di dekat lereng bukit kapur. Anomali tersebut diinterpretasikan berupa batuan karbonat yang berada pada permukaan dangkal dengan kedalaman berkisar 30 m di bawah permukaan. Batuan karbonat tersebut berupa batu gamping yang mempunyai sifat porositas yang tinggi. Sifat porositas tersebut yang menyebabkan fluida misalnya air yang dengan cepat dapat masuk ke dalam batuan melewati celah atau retakan.



Gambar 20. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 1

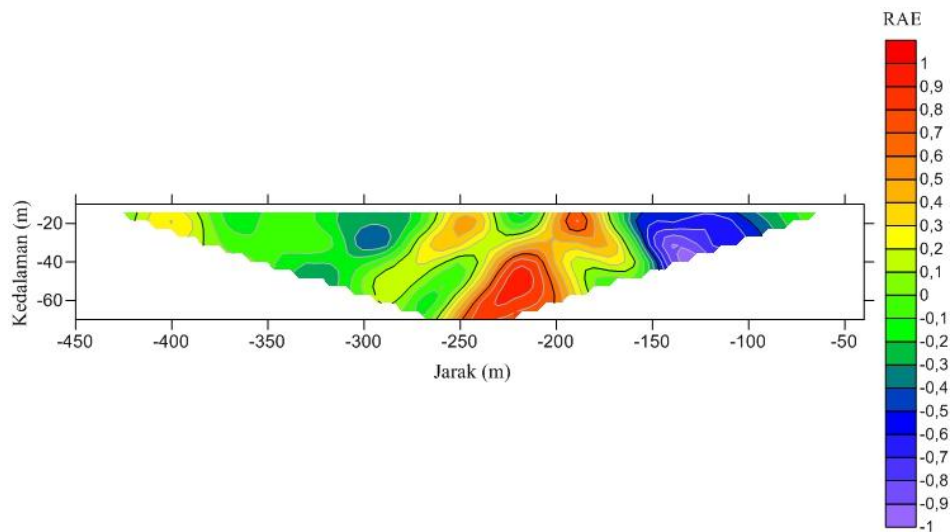
Anomali kedua yaitu pada jarak 210 m dari titik pengambilan data pertama dengan lebar anomali 50 m dan kedalaman 50 m di bawah permukaan tanah. Ketika di lapangan, daerah ini berada di dekat bukit karst tinggi dan terdapat luweng (*sink hole*). Anomali kedua diinterpretasikan sebagai struktur bawah permukaan yang memiliki konduktivitas tinggi yang diduga adalah air pada batuan karbonat. Dalam hal ini anomali kedua berhubungan dengan anomali pertama, dimana air dari anomali pertama mampu meresap ke bawah permukaan hingga terakumulasi di bawah permukaan menuju suatu titik tertentu (anomali kedua). Pada jarak 170 m dari titik pengambilan data pertama tidak dikatakan sebagai anomali target, karena pada jarak tersebut terdapat pipa besi saluran air yang mempengaruhi hasil pengambilan data lapangan. Pipa besi saluran air berjarak 3 m dari pengambilan data.

Kedua anomali konduktif hasil *Filter* Karous Hjelt pada lintasan 1 sesuai dengan keberadaan anomali konduktif berdasarkan *Filter* Fraser yang ditunjukkan pada Gambar 17. Kedua anomali tersebut masih berada pada rentang jarak yang

sesuai dengan hasil *Filter Fraser* pada lintasan 1. Berdasarkan hasil *Filter Fraser* pada lintasan 1, anomali konduktif berada pada dua zona. Zona pertama berada pada jarak 150 m sampai 200 m dan zona kedua berada pada jarak 200 m sampai 275 m dari titik pengambilan data pertama.

RAE bernilai negatif pada lintasan 1 berada pada jarak 70 m sampai 160 m dan pada jarak 260 m sampai 430 m dari titik pengambilan data pertama. Anomali paling resistif berada pada jarak 70 m sampai 150 m dan pada jarak 260 m sampai 430 m dari titik pengambilan data pertama. Ketika di lapangan daerah tersebut berada di daerah lereng bukit, dimana permukaan lereng bukit tersebut berupa batuan.

Plot nilai RAE pada lintasan 2 ditunjukkan oleh Gambar 21. Berdasarkan gambar tersebut RAE bernilai positif terdapat pada jarak 170 m sampai 260 m dan 380 m sampai 420 m dari titik pengambilan data pertama. Pada rentang jarak tersebut, terdapat satu anomali yang jelas yaitu pada jarak 225 m dengan lebar 50 m dan kedalaman 60 m di bawah permukaan. Ketika di lapangan, daerah tersebut merupakan lembah datar berupa tanah yang digunakan sebagai ladang. Sebelah utara maupun selatan daerah tersebut banyak dijumpai bukit yang tinggi. Pada jarak 180 m dari titik pengambilan data pertama, tidak diinterpretasikan sebagai anomali target. Ketika di lapangan, pada jarak tersebut terdapat pipa besi saluran air dengan diameter kurang lebih 15 cm yang merupakan *continuity* (keberlanjutan) dari pipa besi saluran air pada lintasan 1.



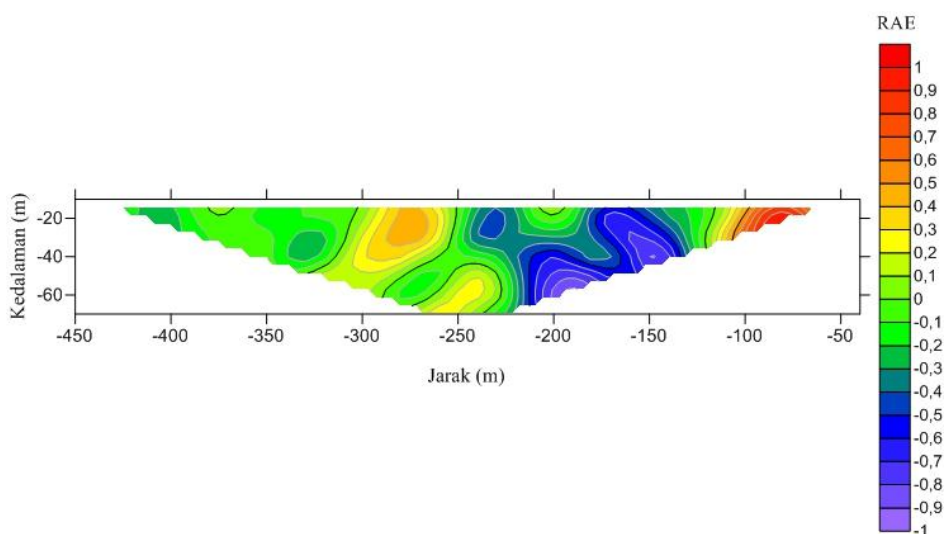
Gambar 21. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 2

Anomali konduktif hasil *Filter* Karous Hjelt pada lintasan 2 sesuai dengan keberadaan anomali konduktif berdasarkan *Filter* Fraser yang ditunjukkan pada Gambar 18. Anomali tersebut masih berada dalam rentang jarak yang sesuai dengan hasil *Filter* Fraser pada lintasan 2. Berdasarkan hasil *Filter* Fraser pada lintasan 2, anomali konduktif berada pada jarak 225 m sampai 300 m dari titik pengambilan data pertama.

RAE bernilai negatif pada lintasan 2 berada pada jarak 70 m sampai 170 m dan pada jarak 270 m sampai 380 m dari titik pengambilan data pertama. Jarak 70 m sampai 150 m divisualisasikan dengan warna hijau hingga biru, ketika di lapangan daerah tersebut merupakan kawasan lereng bukit berbatu. Jarak 160 m berada di kaki bukit yang digunakan sebagai ladang. Jarak 270 m sampai 380 m berada di daerah ladang dan tidak dijumpai bukit batu.

Plot nilai RAE pada lintasan 3 ditunjukkan oleh Gambar 22. Berdasarkan gambar tersebut RAE bernilai positif terdapat pada jarak 70 m sampai 110 m, 240 m sampai 270 m, dan 260 m sampai 300 m dari titik pengambilan data pertama.

Pada jarak 70 m sampai 110 m tidak diinterpretasikan sebagai anomali target, karena pada saat pengambilan data terdapat tiang besi di Kantor Bribin 2 yang mampu menyebabkan medan elektromagnet baru. Pada jarak 270 m sampai 300 m dari titik pengambilan data pertama tidak diinterpretasikan dengan anomali target, karena pada jarak tersebut terdapat pipa besi saluran air dengan diameter 30 cm yang mampu menyebabkan medan elektromagnet baru.



Gambar 22. Plot Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Pada Lintasan 3

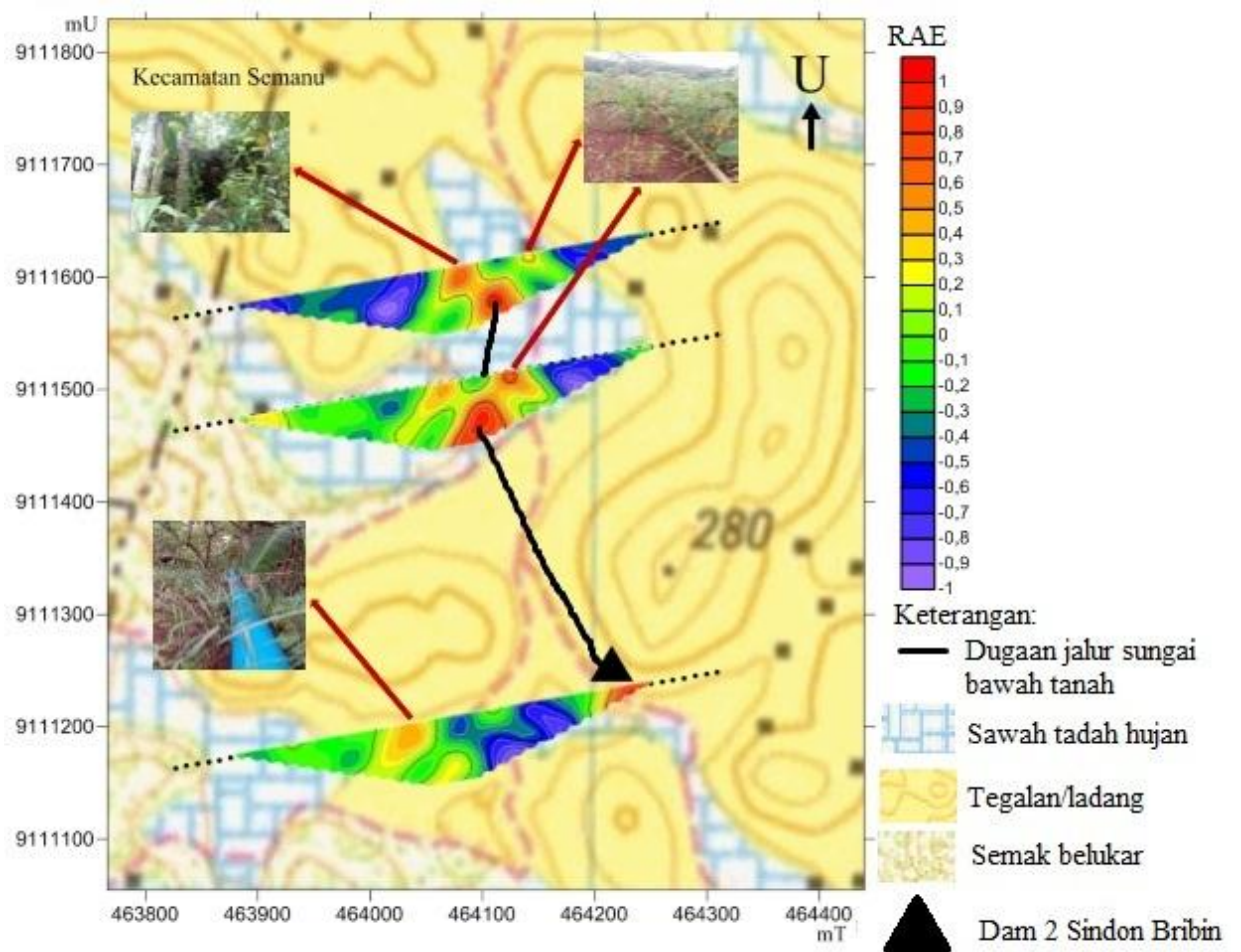
Pada lintasan 3 dugaan anomali target dari struktur bawah permukaan berkonduktivitas tinggi berada pada jarak 250 m dari titik pengambilan data pertama dengan lebar anomali 30 m dan kedalaman 60 m di bawah permukaan. Jarak tersebut tidak menunjukkan nilai RAE yang begitu tinggi, karena kedalaman RAE yang didapat sebagai respon dari anomali masih kurang. Jika pemodelan kedalaman RAE dapat mencakup lebih dalam lagi, maka dimungkinkan akan terlihat jelas anomali bawah permukaan yang berkonduktivitas tinggi pada jarak tersebut.

Anomali konduktif hasil *Filter* Karous Hjelt pada lintasan 3 sesuai dengan keberadaan anomali konduktif berdasarkan *Filter* Fraser yang ditunjukkan pada Gambar 19. Anomali tersebut masih berada dalam rentang jarak yang sesuai dengan hasil *Filter* Fraser pada lintasan 3. Berdasarkan hasil *Filter* Fraser pada lintasan 3 anomali konduktif berada pada jarak 240 m sampai 310 m dari titik pengambilan data pertama.

RAE bernilai negatif pada Gambar 22 berada pada jarak 120 m sampai 240 m dan pada jarak 320 m sampai 430 m dari titik pengambilan data pertama yang divisualisasikan dengan warna biru hingga hijau. Jarak 120 m sampai 240 m berada di lereng bukit batu gamping yang digunakan sebagai ladang pertanian. Jarak 320 m sampai 430 m berada di bukit gamping yang banyak dijumpai batu dan semak-semak. Sebagian wilayah dari bukit gamping tersebut dimanfaatkan sebagai ladang pertanian.

Dari ketiga lintasan terbentuk keberlanjutan (*continuity*) RAE bernilai tinggi yang menandakan konduktivitasnya tinggi dan diinterpretasikan sebagai anomali target keberadaan sungai bawah tanah. Jika dari ketiga lintasan dibuat gabungan plot RAE kemudian dilakukan *overlay* dengan peta RBI daerah penelitian, maka hasilnya akan terlihat keberlanjutan (*continuity*) dugaan sungai bawah tanah yang ditunjukkan oleh Gambar 23. Berdasarkan gambar tersebut, dugaan sungai bawah tanah yang terpetakan berada pada kedalaman 50 m sampai 60 m di bawah permukaan dan mengalir dari utara menuju selatan. Hal ini sesuai dengan penelitian Sismanto pada tahun 2003 di desa Dadapayu, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul yang mendapatkan pola aliran Sungai Bawah

Tanah Bribin dengan kedalaman 50 meter di bawah permukaan dan mengalir dari utara menuju ke selatan. Namun berdasarkan data kenampakan di lapangan, pada lintasan 3 telah diketahui posisi atau letak Dam 2 Sindon Bribin, sehingga arah dari anomali struktur bawah permukaan berkonduktivitas tinggi yang diinterpretasikan sebagai sungai bawah tanah diposisikan ke arah dam tersebut.



Gambar 23. Gabungan Plot 2D Jarak (m), Kedalaman (m), dan RAE Ketiga Lintasan

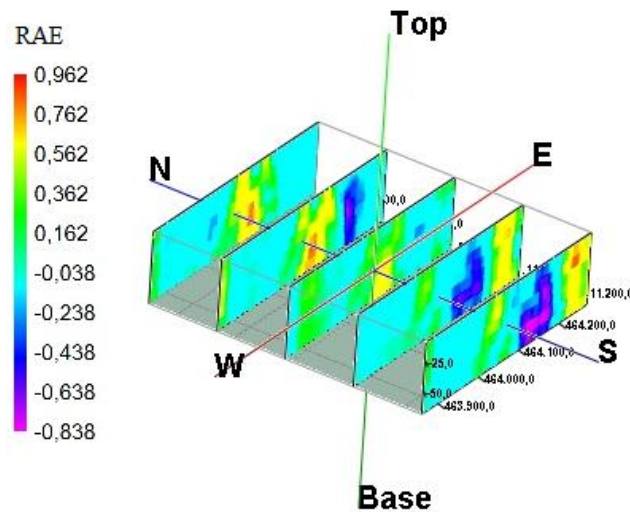
Dam 2 Sindon Bribin berada pada kedalaman 102 m di bawah permukaan. Pada lintasan 3 posisi ataupun letak lintasan berada di sebelah barat dari Dam 2 Sindon Bribin, jadi kontras dari anomali konduktif tidak dapat tercover sempurna

E. Pemodelan 3D

Solid model 3D divisualisasikan dengan tingkat gradasi warna yaitu warna ungu muda hingga merah. Gradasi warna yang digunakan adalah warna biru muda

hingga ungu muda untuk RAE yang bernilai negatif dan warna hijau muda hingga merah untuk RAE yang bernilai positif. Gambar 24 menunjukkan tiga garis berwarna merah yang membujur dari timur ke barat. Garis tersebut merupakan lintasan penelitian. Garis pertama yang berada di bagian utara merupakan lintasan 1, garis kedua yang berada di selatan lintasan 1 adalah lintasan 2, sedangkan garis ketiga yang berada di selatan lintasan 2 adalah lintasan 3.

Berdasarkan *solid model* 3D tersebut RAE bernilai tinggi (0,56 sampai 0,96) divisualisasikan dengan warna kuning hingga merah. RAE bernilai tinggi tersebar tidak merata di bawah permukaan dangkal (10 m sampai 30 m), juga terdapat di lapisan bawah permukaan yang lebih dalam (40 m sampai 70 m). Persebaran RAE bernilai rendah (-0,03 sampai -0,84) divisualisasikan dengan warna biru muda hingga ungu muda yang tersebar lebih merata di permukaan dangkal sampai ke permukaan yang lebih dalam. Pada lintasan 1 terlihat nilai RAE tinggi berada di bagian barat lintasan penelitian dan sedikit di bagian tengah. Pada lintasan 2 terlihat nilai RAE tinggi berada di bagian tengah lintasan penelitian. Pada lintasan 3 terlihat nilai RAE tinggi berada pada ujung timur lintasan penelitian. Untuk memudahkan interpretasi nilai RAE pada kedalaman tertentu dilakukan *slice model* 3D seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. *Slice Solid Model* 3D Gabungan Ketiga Lintasan

Gambar 25 menunjukkan *solid model* 3D yang telah dilakukan 5 sayatan secara horizontal dari timur hingga barat. Sayatan pertama berada di bagian utara daerah penelitian hingga sayatan ke lima berada di bagian selatan daerah penelitian. Model sayatan tersebut memudahkan interpretasi mengenai pola persebaran nilai RAE tinggi pada kedalaman tertentu. Pada sayatan di utara daerah penelitian terlihat nilai RAE tinggi yang berada pada kedalaman lebih dangkal daripada sayatan sebelah selatan. Keberadaan nilai RAE tinggi untuk selanjutnya semakin dalam hingga pada bagian selatan daerah penelitian. Oleh karena itu besar kemungkinan lintasan 1 merupakan daerah potensi keberadaan bahan berkonduktivitas tinggi pada kedalaman lebih dangkal daripada lintasan 2 dan lintasan 3.

Gambar sayatan *solid model* 3D memvisualisasikan keteraturan persebaran RAE, dimana RAE yang bernilai lebih rendah bersesuaian dengan sayatan sesudahnya. Keteraturan tersebut dapat dilihat pada Gambar 25, dimana daerah yang mempunyai nilai RAE rendah juga menunjukkan posisi yang membentuk pola

Pada Gambar 26, garis berwarna merah yang membujur dari timur hingga barat menunjukkan posisi nilai RAE di setiap lintasan. Perhitungan RAE dilakukan pada setiap kedalaman tertentu, sehingga posisi RAE divisualisasikan per kedalaman. Pada lintasan 1, nilai RAE tinggi sebagai respon anomali berada pada kedalaman yang lebih dangkal daripada lintasan 2 dan lintasan 3. Pada lintasan 2, nilai RAE tinggi sebagai respon anomali berada pada posisi lebih dalam daripada lintasan 1, begitupula dengan lintasan 3. Dari gambar tersebut, terlihat jelas keberlanjutan (*continuity*) struktur bawah permukaan yang mempunyai nilai RAE tinggi (berkonduktivitas tinggi) yang diinterpretasikan sebagai anomali dari sungai bawah tanah.

62

Berdasarkan tabel pada Lampiran 7 didapatkan informasi mengenai jenis tanah atau batuan yang menyusun area Dam 2 Sindon Bribin hingga kedalaman 100 m di bawah permukaan. Tanah ataupun batuan penyusun area Dam 2 sindon Bribin memiliki jenis yang sama yaitu gamping.

Berdasarkan hasil penelitian ini, struktur bawah permukaan berkonduktivitas tinggi dari lintasan 1, lintasan 2, dan lintasan 3 berada pada kedalaman 50 m sampai 60 m di bawah permukaan. Keberadaan struktur bawah permukaan berkonduktivitas tinggi dari ketiga lintasan tersebut berada pada lapisan batuan yang sama yaitu batu gamping berwarna putih kecoklatan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Keberadaan Sungai Bawah Tanah Bribin dapat teridentifikasi melalui persebaran nilai Rapat Arus Ekuivalen (RAE) pada setiap lintasan yang kemudian dimodelkan dalam bentuk 2D maupun 3D. Berdasarkan pemodelan nilai RAE, Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin berada pada kedalaman 50 - 60 m di bawah permukaan.
2. Arah dan jalur Sungai Bawah Tanah Bribin di sekitar Dam 2 Sindon Bribin adalah utara menuju selatan dan membentuk jalur yang didasarkan pada keterkaitan anomali konduktif antar lintasan.

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan lintasan yang lebih panjang agar mendapatkan anomali konduktif bawah permukaan yang lebih dalam dan jelas.
2. Perlu dilakukan penelitian dan analisis tambahan dengan metode lain khususnya metode yang terkait dengan sifat fisis batuan seperti metode geolistrik dan gravitasi, agar data yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, F. (2005). *Pemetaan Sungai Bawah Tanah dengan Menggunakan Metode Elektromagnetik Very Low Frequency (VLF) di daerah Gunung Kunir, Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Aziz, Khafid Nur. (2015). *Interpretasi Struktur Bawah Tanah dan Pemodelan 2D dengan Metode Geomagnet di Wilayah Karst Bribin, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, DIY*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Baker, H. A. & Myers, J. O. (1980). *A Topographic Correction for VLF-EM Profiles Based on Model Studies Geoexploration*. Netherlands. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Bosch, F. P & Muller. I. (2001). *A New Possibility for High Resolution Mapping Of Karst Structures*. Continuous Gradient VLF Measurements. Technical Articles. Vol. 19. No 345-350.
- Budi, E. (2013). *Gelombang*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya Offset.
- Cheng, D.K. (1989). *Field and Electromagnetics*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Cohen, Morris. (2009). *Narrowband Transmitter Guide*. California: Stanford University.
- Coppo, N. Schnegg, P & Defago, M. (2006). *Mapping a Shallow Lage Cave Using a High Resolution Very Low Frequency Electromagnetic Method*. Proceedings of The 8th Conference on Limestone Hydrogeology. Neuchatel Switzerland.
- Eko, H & Tjahyo N. A. (2004). *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Faizal, Rahmat. (2006). *Pemodelan Sungai Bawah Tanah Bribin di Daerah Hargosari Kabupaten Gunungkidul*. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Febria, A. (2009). *Estimasi Aliran Sungai Bawah Tanah dengan Menggunakan Metode Geofisika VLF EM Mode Sudut Tilt di Daerah Dengok dan Ngrejok Wetan, Gunungkidul Yogyakarta*. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.

- Firzany, R. (2005). *Pemetaan Sungai Bawah Tanah menggunakan Metode Elektromagnetik Frekuensi Sangat Rendah dengan Mode Tilt di Daerah Nangsri, Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta*. Skripsi. Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Ford, D. & Williams, P. (1992). *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Fraser, D.C. (1969). *Contouring Of VLF EM Data*. Geophysics. Vol. 34 No. 6. 958-967.
- Gadallah, R.M., & Fisher, R. (2009). *Exploration Geophysics*. Berlin: Springer.
- Haryono, Eko & Adji, Tjahyo N. (2004). *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Heningtyas. (2017). *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Dengan Metode Geomagnet Di Jalur Sesar Oyo*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Holt, C.A. (1967). *Electromagnetic Field and Waves*. Departement Of Electrical Engineering Virginia Polytechnic Institute.
- Kaikonen, P. (1979). *Numerical VLF Modeling*. Geophysical Prospecting. Vol 27. No 815-834.
- Karous, M., & Hjelt, S.E. (1983). *Linear Filtering Of VLF Dip-Angle Measurements*. Geophysical Prospecting 31. 782-794.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2004). *Log Pemboran*. Yogyakarta: BBWS Serayu Opak.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2017). *Peta Jalur Sungai Bawah Tanah*. Yogyakarta: BBWS Serayu Opak.
- Kusumayudha, S.B. (2005). *Hidrogeologi Karst dan Geometri Fraktal di Daerah Gunungsewu*. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa.
- Kusuma, Astuti Retna. (2014). *Pemodelan 2D Sungai Bawah Tanah Seropan dengan Metode VLF-EM di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunungkidul*. Yogyakarta. FMIPA UGM.
- Mac Donald. (1984). *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study Volume 3: Groundwater, Directorate General of Water Resources Development*

Groundwater Development project (P2AT). Ministry of Public Works. Government of the Republic of Indonesia.

McNeill, J.D. & Labson, V.F. (1991). *Geological Mapping Using VLF Radio Fields*. Electromagnetic Methods In Applied Geophysics-Application. 2: 557.

Nabighian, M. (1991). *Electromagnetic Methods In Applied Geophysics*. Oklahoma: Society Of Exploration Geophysics.

Parera. (2008). *Aplikasi Metode Elektromagnetik Very Low Frequency (VLF) untuk Karakteristik Bawah Permukaan di Daerah Gunungkidul*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.

Paston, Sidauruk. Pujiindriyati, E. & Satrio. (2012). *Studi Interkoneksi Antar Gua/Luweng Daerah Karst Gunung Kidul Dengan Teknik Perunut*. Laporan Penelitian. Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN.

Pemerintah Kabupaten Gunungkidul. (2018). *Luas Wilayah*. Diakses dari <http://gunungkidulkab.go.id/home.php?mode=content&id=80> pada tanggal 3 Maret 2018.

Reitz, J.R., Milford, F.J., & Robert, R.W., *Dasar Teori Listrik Magnet*. Edisi Ketiga. Bandung: ITB.

Rousmawati, V. (2010). *Estimasi Aliran Sungai Bawah Tanah dengan Pemodelan 2D Very Low Frequency di daerah Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta*. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.

Rusmanto, Tri & Taftazani, A. (2005). *Analisis Sifat Fisika, Kimia, Biologi, dan Radioaktivitas Sampel Air Sungai Bribin Gunungkidul Yogyakarta*. Prosiding, PPI-PIDPTN 2005. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju BATAN.

Sismanto. Eddy, H. & Suparwoto, H. (2003). *Eksplorasi Geofisika Terhadap Aliran Sungai Bawah Tanah Dengan Metoda Elektromagnetik Very Low Frequency Di Daerah Semanu, Wonosari, Yogyakarta*. Laporan Penelitian. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.

Suharyadi. (1994). *Penelitian Kajian Metode Penelusuran Sungai Bawah tanah di Daerah Batu Gamping (Karst)*. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada.

- Sukandarumidi. (1994). *Geologi Sejarah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Telford. W.M., Geldart. L.P., & Sheriff. R.E.,. (1990). *Applied Geophysics*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tjahyo Nugroho Adji. (2011). *Pemisahan Aliran Dasar Bagian Hulu Sungai Bribin pada Aliran Gua Gilap, di Kars Gunung Sewu, Gunung Kidul, Yogyakarta*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 6 No. 3 Juni 2011. Hlm. 165-175.
- Umam, R. (2016). *Pemodelan 2D VLF-EM Sungai Bawah Tanah Seropan Menggunakan Guide Matlab*. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology Of Indonesia, General Geology of Indonesia*. Second edition. Martinus Nijhoff. The Hague.
- Wilardjo, L. (2015). *Gelombang Elektromagnetik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Woro, Tri. Prima. & Wisnu. (1996). *Hidrogeologi*. Yogyakarta: Andi.
- Zakiyyan, A.H. (2016). *Pemetaan Sungai Bawah Tanah menggunakan data VLF-EM dengan Koreksi Topografi dan data VLF-R pada daerah Gua Seropan, Gunungkidul, Yogyakarta*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Worksheet Pengambilan Data

Lintasan 1

Frekuensi Pengukuran : 19.800 Hz

Waktu Pengukuran : Selasa, 24 Oktober 2017 Pukul 10.40-12.48 WIB

Tabel L1. Pengambilan Data Lintasan 1

| No | Longitude (m) | Latitude (m) | Nama Titik | Jarak (m) | Tilt (%) | Eliptisitas (%) | Elevasi (mdpl) | Keterangan |
|----|---------------|--------------|------------|-----------|----------|-----------------|----------------|--|
| 1 | 464309,201 | 9111648,412 | T1 | 0 | -3 | -5 | 253 | Batuan karst, berada di dekat pohon akasia |
| 2 | 464299,353 | 9111646,676 | T2 | 10 | -5 | 4 | 252 | |
| 3 | 464289,505 | 9111644,939 | T3 | 20 | -5 | 3 | 251 | |
| 4 | 464279,657 | 9111643,203 | T4 | 30 | -5 | 2 | 250 | |
| 5 | 464269,809 | 9111641,466 | T5 | 40 | -8 | 3 | 247 | |
| 6 | 464259,961 | 9111639,730 | T6 | 50 | -4 | 3 | 246 | |
| 7 | 464250,113 | 9111637,993 | T7 | 60 | -1 | -3 | 246 | |
| 8 | 464240,265 | 9111636,257 | T8 | 70 | -2 | 6 | 245 | |
| 9 | 464230,417 | 9111634,520 | T9 | 80 | -1 | -4 | 244 | |
| 10 | 464220,569 | 9111632,784 | T10 | 90 | -4 | 4 | 243 | |
| 11 | 464210,721 | 9111631,047 | T11 | 100 | 4 | -4 | 243 | |
| 12 | 464200,873 | 9111629,311 | T12 | 110 | 6 | -5 | 242 | |
| 13 | 464191,026 | 9111627,574 | T13 | 120 | 4 | -5 | 242 | |
| 14 | 464181,179 | 9111625,838 | T14 | 130 | 7 | -7 | 241 | |
| 15 | 464171,329 | 9111624,101 | T15 | 140 | 10 | -7 | 241 | |
| 16 | 464161,480 | 9111622,365 | T16 | 150 | 15 | -9 | 240 | |
| 17 | 464151,632 | 9111620,628 | T17 | 160 | 19 | -10 | 239 | |
| 18 | 464141,784 | 9111618,892 | T18 | 170 | 22 | -14 | 239 | Pipa besi saluran air jarak 3 m |
| 19 | 464131,936 | 9111617,155 | T19 | 180 | 31 | -25 | 238 | |
| 20 | 464122,088 | 9111615,419 | T20 | 190 | -54 | 34 | 237 | |
| 21 | 464112,240 | 9111613,682 | T21 | 200 | 17 | 24 | 236 | |
| 22 | 464102,392 | 9111611,946 | T22 | 210 | 19 | 8 | 236 | |
| 23 | 464092,544 | 9111610,209 | T23 | 220 | 10 | 5 | 236 | Di gubug, bukit berbatu |

| | | | | | | | | |
|----|------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 24 | 464082,696 | 9111608,473 | T24 | 230 | -4 | 6 | 237 | |
| 25 | 464072,848 | 9111606,736 | T25 | 240 | -17 | 12 | 237 | |
| 26 | 464063,000 | 9111605,000 | T26 | 250 | -26 | 11 | 238 | |
| 27 | 464053,151 | 9111603,264 | T27 | 260 | -38 | 13 | 237 | |
| 28 | 464043,303 | 9111601,527 | T28 | 270 | -38 | 17 | 239 | |
| 29 | 464033,455 | 9111599,791 | T29 | 280 | -15 | 13 | 239 | |
| 30 | 464023,607 | 9111598,054 | T30 | 290 | -11 | 11 | 240 | |
| 31 | 464013,759 | 9111596,318 | T31 | 300 | -11 | 10 | 241 | |
| 32 | 464003,911 | 9111594,581 | T32 | 310 | -10 | 8 | 241 | |
| 33 | 463994,063 | 9111592,845 | T33 | 320 | -8 | 9 | 241 | |
| 34 | 463984,215 | 9111591,108 | T34 | 330 | -6 | 5 | 241 | |
| 35 | 463974,367 | 9111589,372 | T35 | 340 | -5 | 6 | 241 | |
| 36 | 463964,519 | 9111587,635 | T36 | 350 | -2 | -5 | 241 | |
| 37 | 463954,671 | 9111585,899 | T37 | 360 | -6 | -5 | 241 | |
| 38 | 463944,823 | 9111584,162 | T38 | 370 | -7 | -5 | 241 | |
| 39 | 463934,975 | 9111582,426 | T39 | 380 | -7 | -6 | 242 | |
| 40 | 463925,126 | 9111580,689 | T40 | 390 | -4 | -6 | 242 | |
| 41 | 463915,278 | 9111578,953 | T41 | 400 | -2 | -10 | 243 | |
| 42 | 463905,430 | 9111577,216 | T42 | 410 | 5 | -7 | 240 | |
| 43 | 463895,582 | 9111575,480 | T43 | 420 | 8 | -10 | 243 | |
| 44 | 463885,734 | 9111573,743 | T44 | 430 | 27 | -5 | 243 | |
| 45 | 463875,886 | 9111572,007 | T45 | 440 | 36 | -5 | 243 | |
| 46 | 463866,038 | 9111570,27 | T46 | 450 | 14 | 3 | 243 | |
| 47 | 463856,190 | 9111568,534 | T47 | 460 | -23 | 8 | 244 | |
| 48 | 463846,342 | 9111566,797 | T48 | 470 | -41 | 9 | 245 | |
| 49 | 463836,494 | 9111565,061 | T49 | 480 | -27 | 8 | 246 | |
| 50 | 463826,646 | 9111563,324 | T50 | 490 | -26 | 7 | 247 | |

Lintasan 2

Frekuensi Pengukuran : 19.800 Hz

Waktu Pengukuran : Selasa, 24 Oktober 2017 Pukul 14.00-15.41 WIB

Tabel L2. Pengambilan Data Lintasan 2

| No | <i>Longitude</i> (m) | <i>Latitude</i> (m) | Nama Titik | Jarak (m) | <i>Tilt</i> (%) | Elipsitas (%) | Elevasi (mdpl) | Keterangan |
|----|-------------------------|---------------------|------------|-----------|-----------------|---------------|----------------|-----------------------------------|
| 1 | 464309,201 | 9111548,412 | T51 | 0 | -13 | -9 | 255 | Bukit batu terjal dan semak-semak |
| 2 | 464299,353 | 9111546,676 | T52 | 10 | -4 | -8 | 255 | |
| 3 | 464289,505 | 9111544,939 | T53 | 20 | -8 | -9 | 254 | |
| 4 | 464279,657 | 9111543,203 | T54 | 30 | -6 | -8 | 253 | |
| 5 | 464269,809 | 9111541,466 | T55 | 40 | -3 | -4 | 252 | |
| 6 | 464259,961 | 9111539,73 | T56 | 50 | -6 | -4 | 251 | |
| 7 | 464250,113 | 9111537,993 | T57 | 60 | -5 | -5 | 249 | |
| 8 | 464240,265 | 9111536,257 | T58 | 70 | -11 | -10 | 247 | |
| 9 | 464230,417 | 9111534,52 | T59 | 80 | -9 | -6 | 246 | |
| 10 | 464220,569 | 9111532,784 | T60 | 90 | -11 | -8 | 245 | |
| 11 | 464210,721 | 9111531,047 | T61 | 100 | -5 | -10 | 243 | |
| 12 | 464200,873 | 9111529,311 | T62 | 110 | -9 | -8 | 243 | |
| 13 | 464191,025 | 9111527,574 | T63 | 120 | -3 | -10 | 242 | |
| | | | | | | | | |
| 14 | 464181,176 | 9111525,838 | T64 | 130 | 1 | -4 | 240 | |
| 15 | 464171,328 | 9111524,101 | T65 | 140 | 5 | -8 | 239 | |
| 16 | 464161,480 | 9111522,365 | T66 | 150 | 8 | -5 | 239 | |
| 17 | 464151,632 | 9111520,628 | T67 | 160 | 10 | -9 | 237 | Ladang padi |
| 18 | 464141,784 | 9111518,892 | T68 | 170 | 11 | -26 | 236 | |
| 19 | 464131,936 | 9111517,155 | T69 | 180 | 22 | -16 | 235 | Pipa besi saluran air jarak 3 m |
| 20 | 464122,088 | 9111515,419 | T70 | 190 | 19 | 28 | 234 | |
| 21 | 464112,240 | 9111513,682 | T71 | 200 | -13 | 28 | 233 | |
| 22 | 464102,392 | 9111511,946 | T72 | 210 | -14 | 23 | 232 | |
| 23 | 464092,544 | 9111510,209 | T73 | 220 | -4 | 18 | 232 | |
| 24 | 464082,696 | 9111508,473 | T74 | 230 | 3 | 12 | 232 | |
| 25 | 464072,848 | 9111506,736 | T75 | 240 | 4 | 6 | 232 | |
| 26 | 464063,000 | 9111505,000 | T76 | 250 | -7 | 6 | 232 | |
| 27 | 464053,151 | 9111503,264 | T77 | 260 | -16 | 6 | 232 | |
| 28 | 464043,303 | 9111501,527 | T78 | 270 | -15 | 4 | 232 | |
| 29 | 464033,455 | 9111499,791 | T79 | 280 | -16 | 7 | 321 | |

| | | | | | | | | |
|----|------------|-------------|------|-----|-----|----|-----|--|
| 30 | 464023,607 | 9111498,054 | T80 | 290 | -11 | 9 | 231 | |
| 31 | 464013,759 | 9111496,318 | T81 | 300 | -8 | 7 | 231 | |
| 32 | 464003,911 | 9111494,581 | T82 | 310 | -10 | 7 | 231 | |
| 33 | 463994,063 | 9111492,845 | T83 | 320 | -6 | 7 | 231 | |
| 34 | 463984,215 | 9111491,108 | T84 | 330 | -6 | 4 | 232 | |
| 35 | 463974,367 | 9111489,372 | T85 | 340 | -4 | 5 | 232 | |
| 36 | 463964,519 | 9111487,635 | T86 | 350 | -12 | 11 | 233 | |
| 37 | 463954,671 | 9111485,899 | T87 | 360 | -12 | 10 | 234 | |
| 38 | 463944,823 | 9111484,162 | T88 | 370 | -4 | 6 | 234 | |
| 39 | 463934,975 | 9111482,426 | T89 | 380 | -8 | 9 | 235 | |
| 40 | 463925,126 | 9111480,689 | T90 | 390 | -5 | 9 | 236 | |
| 41 | 463915,278 | 9111478,953 | T91 | 400 | -7 | 11 | 237 | |
| 42 | 463905,430 | 9111477,216 | T92 | 410 | -13 | 10 | 239 | |
| 43 | 463895,582 | 9111475,480 | T93 | 420 | -21 | 12 | 240 | |
| 44 | 463885,734 | 9111473,743 | T94 | 430 | -20 | 11 | 242 | |
| 45 | 463875,886 | 9111472,007 | T95 | 440 | -16 | 10 | 243 | |
| 46 | 463866,038 | 9111470,270 | T96 | 450 | -21 | 6 | 243 | |
| 47 | 463856,190 | 9111468,534 | T97 | 460 | -17 | 10 | 244 | |
| 48 | 463846,342 | 9111466,797 | T98 | 470 | -13 | 5 | 245 | |
| 49 | 463836,494 | 9111465,061 | T99 | 480 | -3 | 8 | 247 | |
| 50 | 463826,646 | 9111463,324 | T100 | 490 | -1 | 5 | 248 | |

Lintasan 3

Frekuensi Pengukuran : 19.800 Hz

Waktu Pengukuran : Rabu, 25 Oktober 2017 Pukul 09.00-11.47 WIB

Tabel L3. Pengambilan Data Lintasan 3

| No | Longitude (m) | Latitude (m) | Nama Titik | Jarak (m) | Tilt (%) | Elliptisitas (%) | Elevasi (°) | Keterangan |
|----|---------------|--------------|------------|-----------|----------|------------------|-------------|---------------------------------------|
| 1 | 464309,202 | 9111248,412 | T101 | 0 | 38 | -3 | 250 | Di belakang kantor Bribin jarak 100 m |
| 2 | 464299,354 | 9111246,676 | T102 | 10 | 31 | -8 | 249 | |
| 3 | 464289,505 | 9111244,939 | T103 | 20 | 21 | -10 | 248 | |
| 4 | 464279,657 | 9111243,203 | T104 | 30 | 23 | -5 | 246 | |
| 5 | 464269,809 | 9111241,466 | T105 | 40 | 24 | -4 | 245 | |
| 6 | 464259,961 | 9111239,730 | T106 | 50 | 27 | -11 | 245 | |
| 7 | 464250,113 | 9111237,993 | T107 | 60 | 28 | -5 | 243 | |
| 8 | 464240,265 | 9111236,257 | T108 | 70 | 27 | -14 | 243 | |
| 9 | 464230,417 | 9111234,520 | T109 | 80 | 13 | 11 | 242 | |
| 10 | 464220,569 | 9111232,784 | T110 | 90 | -15 | 4 | 240 | |
| 11 | 464210,721 | 9111231,047 | T111 | 100 | -38 | 22 | 239 | Di belakang kantor Bribin |
| 12 | 464200,873 | 9111229,311 | T112 | 110 | -36 | 14 | 238 | Pinggir kantor Bribin, ada tiang besi |
| 13 | 464191,025 | 9111227,574 | T113 | 120 | -33 | 22 | 237 | |
| 14 | 464181,176 | 9111225,838 | T114 | 130 | -43 | 28 | 236 | |
| 15 | 464171,328 | 9111224,101 | T115 | 140 | -20 | 5 | 235 | |
| 16 | 464161,480 | 9111222,365 | T116 | 150 | -28 | 17 | 234 | Disamping Bor Bribin |
| 17 | 464151,632 | 9111220,628 | T117 | 160 | -19 | 22 | 234 | Pagar besi |
| 18 | 464141,784 | 9111218,892 | T118 | 170 | -13 | 32 | 233 | |
| 19 | 464131,936 | 9111217,155 | T119 | 180 | 11 | -11 | 232 | |
| 20 | 464122,088 | 9111215,419 | T120 | 190 | 13 | -7 | 232 | |
| 21 | 464112,240 | 9111213,682 | T121 | 200 | 16 | 12 | 232 | |
| 22 | 464102,392 | 9111211,946 | T122 | 210 | 18 | -6 | 233 | Pipa besi saluran air jarak 10 m |
| 23 | 464092,544 | 9111210,209 | T123 | 220 | -35 | 9 | 233 | Pipa besi saluran air jarak 5 m |
| 24 | 464082,696 | 9111208,473 | T124 | 230 | 26 | -10 | 234 | |

| | | | | | | | | |
|----|------------|-------------|------|-----|----|-----|-----|--------------------------------------|
| 25 | 464072,848 | 9111206,736 | T125 | 240 | 28 | -25 | 234 | |
| 26 | 464063,000 | 9111205,000 | T126 | 250 | 25 | -21 | 234 | |
| 27 | 464053,151 | 9111203,264 | T127 | 260 | 28 | -21 | 234 | |
| 28 | 464043,303 | 9111201,527 | T128 | 270 | 36 | -13 | 234 | Pipa besi saluran air diameter 30 cm |
| 29 | 464033,455 | 9111199,791 | T129 | 280 | 13 | -15 | 234 | |
| 30 | 464023,607 | 9111198,054 | T130 | 290 | -3 | 11 | 235 | |
| 31 | 464013,759 | 9111196,318 | T131 | 300 | -8 | 16 | 235 | |
| 32 | 464003,911 | 9111194,581 | T132 | 310 | 3 | 10 | 234 | |
| 33 | 463994,063 | 9111192,845 | T133 | 320 | 6 | -3 | 234 | |
| 34 | 463984,215 | 9111191,108 | T134 | 330 | 1 | -4 | 234 | |
| 35 | 463974,367 | 9111189,372 | T135 | 340 | 5 | -4 | 234 | |
| 36 | 463964,519 | 9111187,635 | T136 | 350 | 10 | -3 | 234 | |
| 37 | 463954,671 | 9111185,899 | T137 | 360 | 13 | -3 | 234 | |
| 38 | 463944,823 | 9111184,162 | T138 | 370 | 16 | -5 | 234 | |
| 39 | 463934,97 | 9111182,426 | T139 | 380 | 10 | -6 | 233 | |
| 40 | 463925,129 | 9111180,689 | T140 | 390 | 6 | -7 | 234 | |
| 41 | 463915,278 | 9111178,953 | T141 | 400 | 8 | -7 | 234 | |
| 42 | 463905,438 | 9111177,216 | T142 | 410 | 15 | -8 | 235 | |
| 43 | 463895,582 | 9111175,480 | T143 | 420 | 20 | -9 | 235 | |
| 44 | 463885,734 | 9111173,743 | T144 | 430 | 35 | -6 | 235 | Gubug |
| 45 | 463875,886 | 9111172,007 | T145 | 440 | 26 | -7 | 235 | |
| 46 | 463866,038 | 9111170,270 | T146 | 450 | 24 | -11 | 235 | |
| 47 | 463856,190 | 9111168,534 | T147 | 460 | 16 | -9 | 236 | |
| 48 | 463846,342 | 9111166,797 | T148 | 470 | 8 | -4 | 237 | |
| 49 | 463836,494 | 9111165,061 | T149 | 480 | -1 | 5 | 239 | |
| 50 | 463826,646 | 9111163,324 | T150 | 490 | -7 | 14 | 241 | |

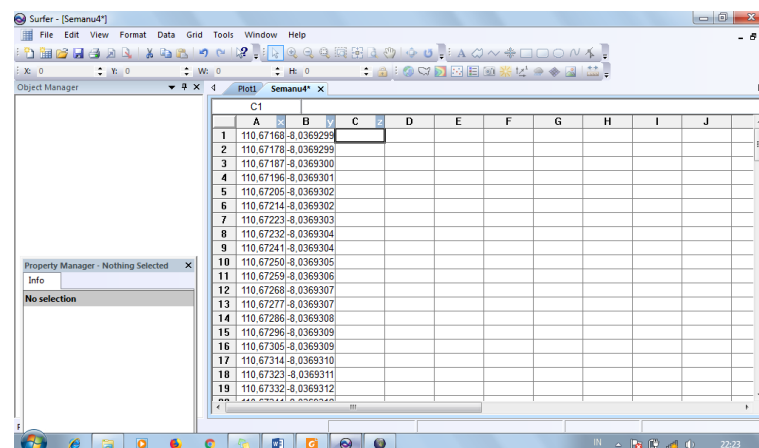
LAMPIRAN 2

Tahap Pembuatan Desain Survei

A. Mengubah Koordinat Pengukuran Menggunakan *Software Surfer 12*

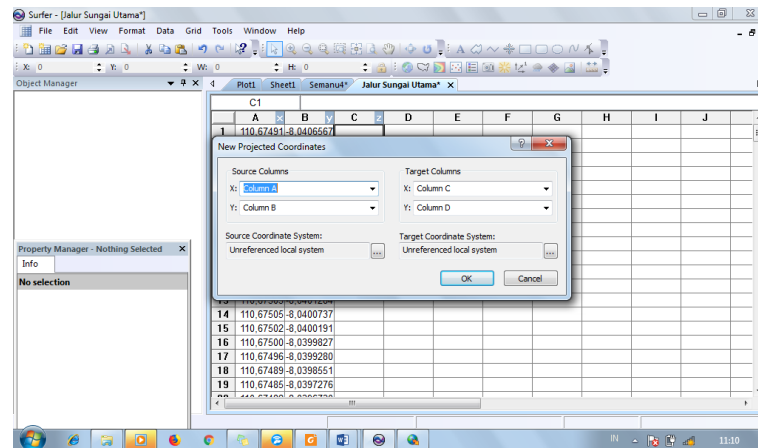
Dalam pembuatan desain survei dapat menggunakan koordinat UTM atau koordinat geografi (*longitude/latitude*). Berikut adalah cara mengubah koordinat geografi ke koordinat UTM:

1. Buka *software Surfer12* → pilih *New Worksheet* (ctrl+W), pada kolom x dan y diisikan dengan koordinat geografi yang akan diubah ke koordinat UTM seperti berikut.



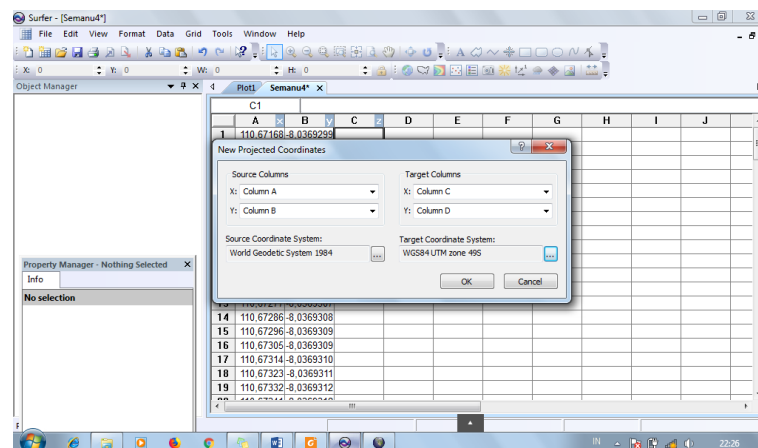
Gambar L1. Memasukkan Koordinat Geografi ke *Software Surfer*

2. Kemudian pilih *Data* → *New Project Coordinates*, kemudian akan muncul tampilan sebagai berikut.



Gambar L2. Tampilan Awal Pada Pengaturan Koordinat yang Diinginkan

3. *Source Columns* adalah kolom yang akan diubah koordinatnya, sedangkan *Target Columns* adalah kolom tempat setelah dilakukan perubahan.
4. Pada kolom *Source Coordinates System* pilih *Predefined* → *Geographic* (lat/lon) → *World Geodetic System 1984* → pilih OK.
5. Pada kolom *Target Coordinates System* pilih *Predefined* → *Projected* → UTM → WGS 84 → WGS84 UTM zone 49S → pilih OK.



Gambar L3. Pengaturan Koordinat yang Diinginkan

6. Kemudian pilih OK dan akan muncul hasil perubahan seperti berikut ini.

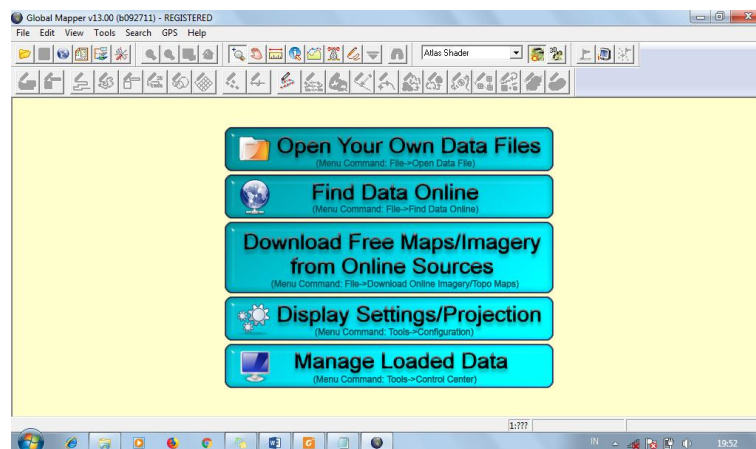
The screenshot shows the Surfer software interface with a data table. The table has columns A through J. The data is as follows:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|-----------|------------|--------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 110.67168 | -8.0369299 | 463823 | 9111605.0 | | | | | | |
| 2 | 110.67178 | -8.0369299 | 463833 | 9111605.0 | | | | | | |
| 3 | 110.67187 | -8.0369300 | 463843 | 9111605.0 | | | | | | |
| 4 | 110.67196 | -8.0369301 | 463853 | 9111605.0 | | | | | | |
| 5 | 110.67205 | -8.0369302 | 463863 | 9111605.0 | | | | | | |
| 6 | 110.67214 | -8.0369302 | 463873 | 9111605.0 | | | | | | |
| 7 | 110.67223 | -8.0369303 | 463883 | 9111605.0 | | | | | | |
| 8 | 110.67232 | -8.0369304 | 463893 | 9111605.0 | | | | | | |
| 9 | 110.67241 | -8.0369304 | 463903 | 9111605.0 | | | | | | |
| 10 | 110.67250 | -8.0369305 | 463913 | 9111605.0 | | | | | | |
| 11 | 110.67259 | -8.0369306 | 463923 | 9111605.0 | | | | | | |
| 12 | 110.67268 | -8.0369307 | 463933 | 9111605.0 | | | | | | |
| 13 | 110.67277 | -8.0369307 | 463943 | 9111605.0 | | | | | | |
| 14 | 110.67286 | -8.0369308 | 463953 | 9111605.0 | | | | | | |
| 15 | 110.67296 | -8.0369309 | 463963 | 9111605.0 | | | | | | |
| 16 | 110.67305 | -8.0369309 | 463973 | 9111605.0 | | | | | | |
| 17 | 110.67314 | -8.0369310 | 463983 | 9111605.0 | | | | | | |
| 18 | 110.67323 | -8.0369311 | 463993 | 9111605.0 | | | | | | |
| 19 | 110.67332 | -8.0369312 | 464003 | 9111605.0 | | | | | | |

Gambar L4. Hasil Perubahan Koordinat

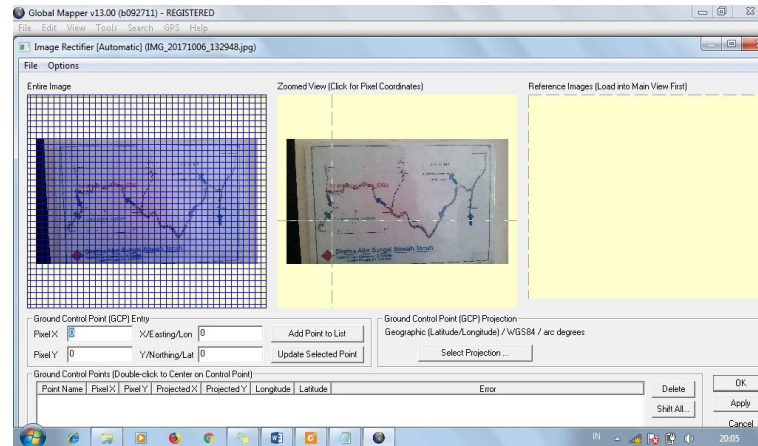
B. Pembuatan Jalur Sungai Bawah Tanah dari Peta atau Gambar

1. *Observasi awal untuk mendapatkan koordinat dari peta atau gambar yang akan dibuat jalur sungai bawah tanah.*
2. *Buka software Global Mapper → pilih Open Your Own Data Files → pilih peta atau gambar yang akan dibuat → pilih OK. Kemudian akan muncul seperti berikut.*



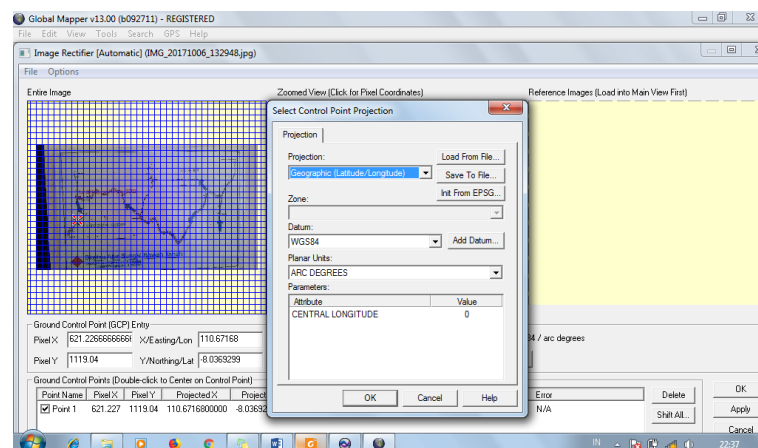
Gambar L5. Tampilan Awal Software Global Mapper

3. *File → Open data file (s) → pilih gambar peta jalur sungai yang masih dalam format file .jpg*



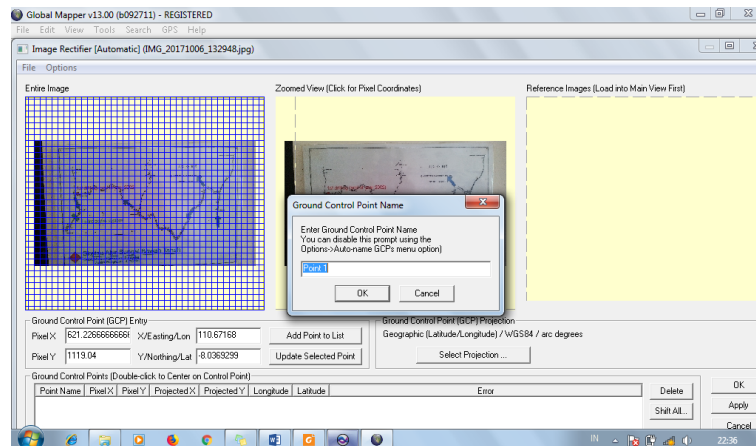
Gambar L6. Membuka file data (*.jpg) pada Software Global Mapper

4. *Mengatur projection dengan klik select projection → projection → Geographic (longitude/latitude), Datum (WGS 84), Planar (ARC DEGREES) → Ok.*



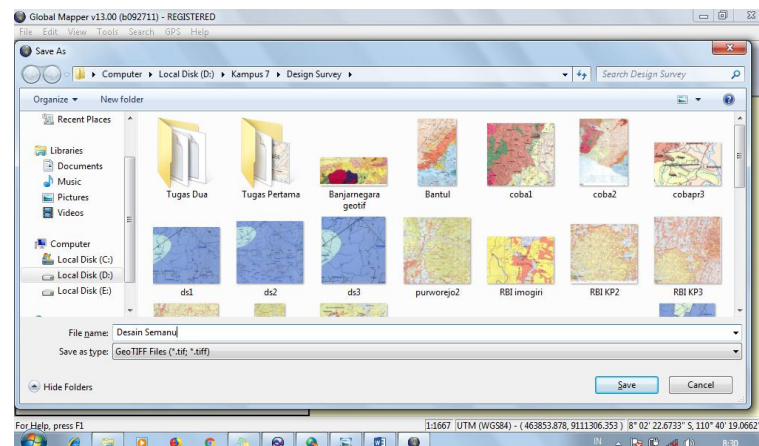
Gambar L7. Pengaturan Koordinat pada Software Global Mapper

5. *Masukkan koordinat yang didapat dari lapangan dimana sumbu X adalah longitude sedangkan sumbu Y adalah latitude → add point to list. Ulangi hingga mendapatkan dua titik → Ok.*



L8. Masukan Koordinat pada Software Global Mapper

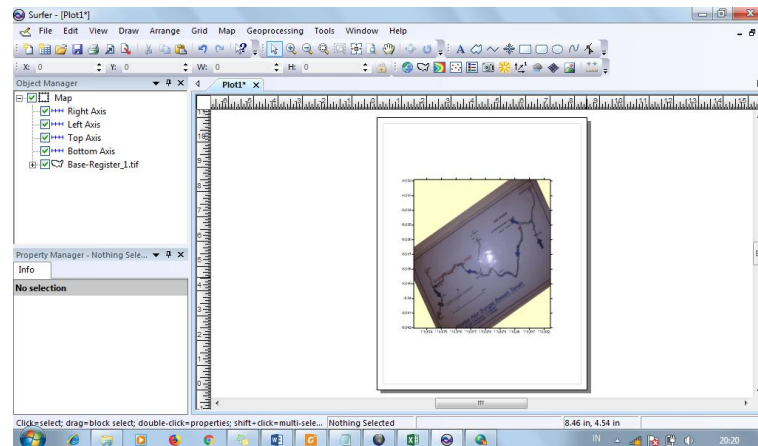
6. Simpan hasil potongan gambar dalam format file *.TIFF image* dengan cara klik *File → Export Raster/Image Format → Select Export Format → GeoTIFF → Save*.



Gambar L9. Pengaturan Lokasi Penyimpanan File pada Software Global Mapper

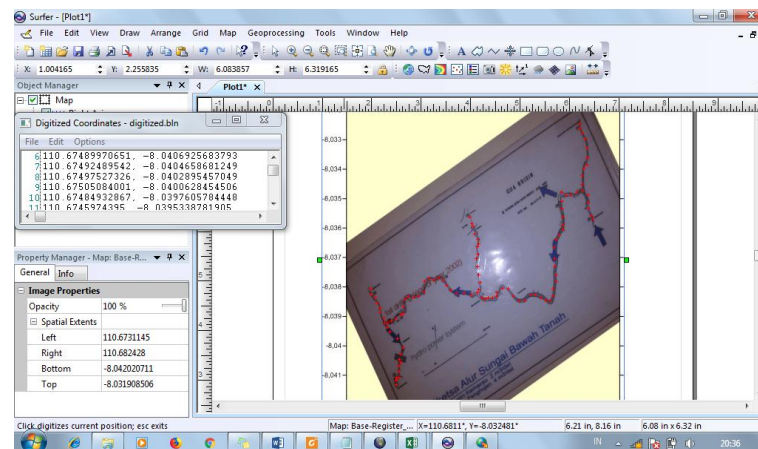
C. Digitizing Jalur Sungai Bawah Tanah

1. Langkah selanjutnya adalah membuat titik-titik koordinat sepanjang jalur sungai bawah tanah. Buka *software Surfer 12 → New Base Map → Pilih file yang telah disimpan dalam format file .TIFF image*.



Gambar L10. Tampilan File yang Akan Dilakukan Digitizing Koordinat Sungai

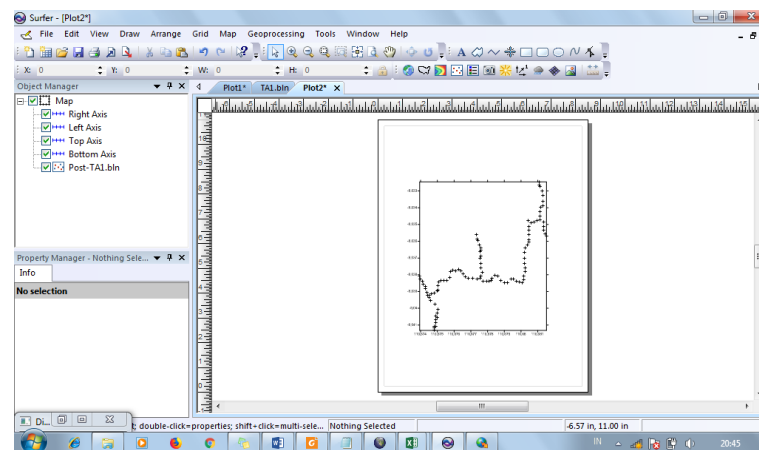
2. Melakukan *digitizing* koordinat sungai yang akan dituju dengan cara pilih gambar → Map → Digitize. Lakukan digitize sepanjang jalur sungai target kemudian akan didapatkan nilai longitude dan latitude.



Gambar L11. Hasil Koordinat Setelah Dilakukan Digitize

7. Koordinat longitude dan latitude yang didapat setelah digitizing kemudian dipindah ke worksheet dan disimpan dalam format file .BLN dengan cara copy data longitude dan latitude → New Worksheet → Paste → Save As dengan format file .BLN.

8. Plotkan data yang telah disimpan dalam format file .BLN pada layar dengan cara klik *New Plot (Ctrl+N)* → *New Base Map* → pilih file yang disimpan dalam format file .BLN.



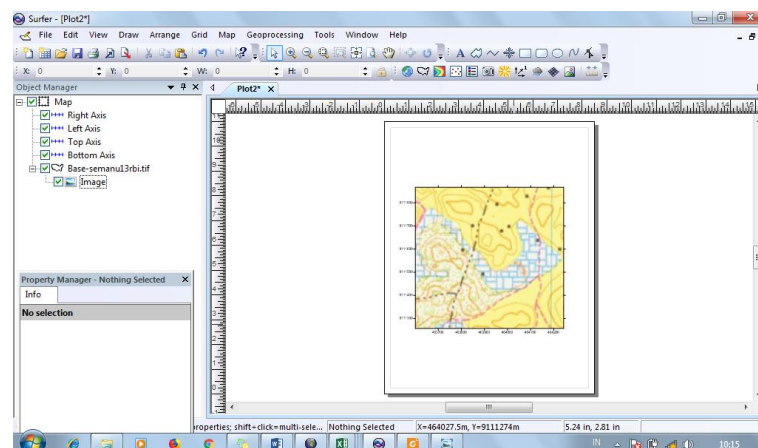
Gambar L12. Hasil Plot Koordinat Sungai pada Software Surfer

9. Membuka *Microsoft Excel* → masukkan koordinat awal daerah penelitian, menentukan jarak antar titik, dan menghitung luasan daerah yang akan diteliti → membuat desain survei. Arah lintasan desain survei adalah N80E maka dalam pembuatan desain surveinya juga menggunakan sudut tersebut dimana X ditambah dengan nilai cos, sedangkan Y ditambah dengan nilai sin.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---------------|----------|---|----------|----------|---|-----------|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Lintasan Satu | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Longitude | Latitude | | X | Y | | Longitude | Latitude | | | | | | | |
| 3 | 9111363 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | 9111372,8 | | | | | | | | |
| 4 | 9111373 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 5 | 9111383 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 6 | 9111393 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 7 | 9111403 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 8 | 9111413 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 9 | 9111423 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 10 | 9111433 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 11 | 9111443 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 12 | 9111453 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 13 | 9111463 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 14 | 9111473 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |
| 15 | 9111483 | 464063 | | 9,848078 | 1,736482 | | | | | | | | | | |

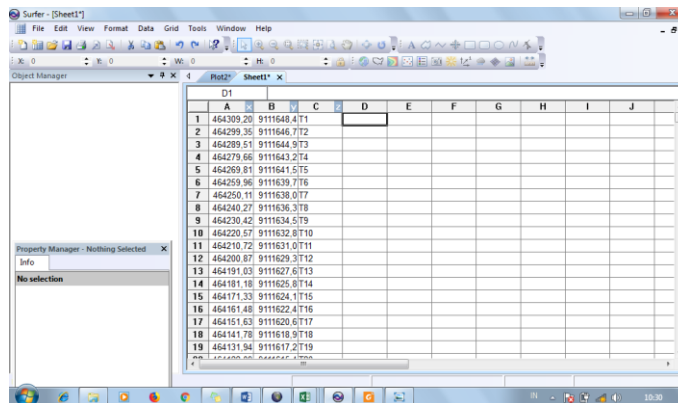
Gambar L13. Perhitungan Sudut Lintasan Desain Survei pada *Microsoft Excel*

10. Mengulangi dengan cara yang sama untuk membuat lintasan yang lain. Jika seluruh lintasan sudah ditentukan nilai koordinatnya, langkah selanjutnya adalah melakukan plot data koordinat *longitude* dan *latitude* pada peta RBI menggunakan *software Surfer 12*.
11. Buka *software Surfer 12* → *New Base Map* → pilih peta RBI yang telah diubah dalam format *file .TIFF*. Cara mengubah format peta RBI menjadi format *file .TIFF* seperti pada langkah 1 sampai 6 (pembuatan jalur sungai bawah tanah dari peta atau gambar). Dalam hal ini menggunakan peta RBI Kecamatan Semanu yang wilayahnya sesuai cakupan daerah penelitian, sehingga perlu dilakukan pemotongan terlebih dahulu.



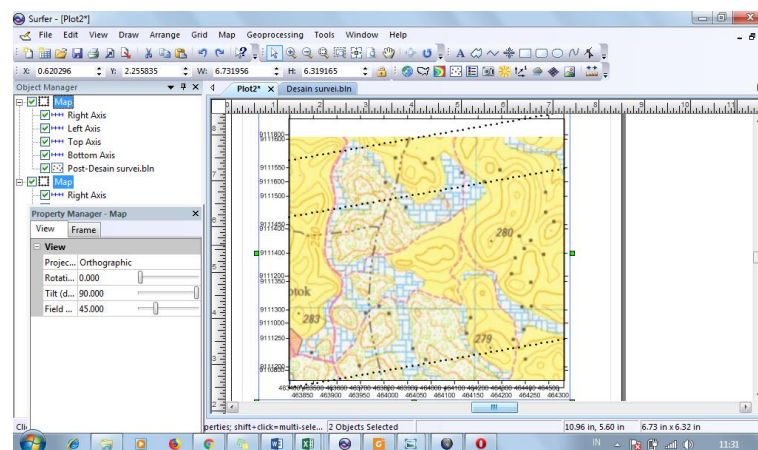
Gambar L14. Tampilan *Base Map* pada *Software Surfer 12*

12. Langkah selanjutnya melakukan *copy* data koordinat *longitude* dan *latitude* ke dalam *Worksheet Surfer 12* dengan klik *New Worksheet*. Masukkan koordinat *longitude* pada kolom A(x), *latitude* pada kolom B(y), dan nama titik pada kolom C(z).



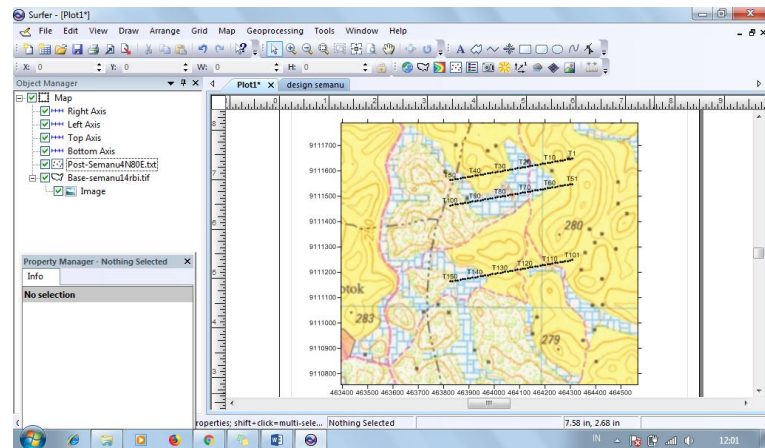
Gambar L15. Masukan Koordinat pada Worksheet Software Surfer 12

13. Simpan dalam format file .BLN dengan cara klik *file* → *Save As* → *Save as type .BLN* → *Save*.
14. Selanjutnya plotkan hasil data dari *worksheet* pada peta RBI yang telah dibuka dengan langkah klik *Map* → *New Post Map* → *Open data* → *Pilih file dalam bentuk format file .BLN yang telah disimpan* → *Open*.



Gambar L16. Hasil Plot Post Map pada Software Surfer 12

15. Desain survei yang dibuat harus dilakukan *overlay* terlebih dahulu agar sesuai dengan koordinat daerah penelitian pada peta RBI dengan cara *CTRL + A* → *Map* → *Overlay Maps*.



Gambar L17. Hasil *Overlay* Desain Survei pada Peta RBI

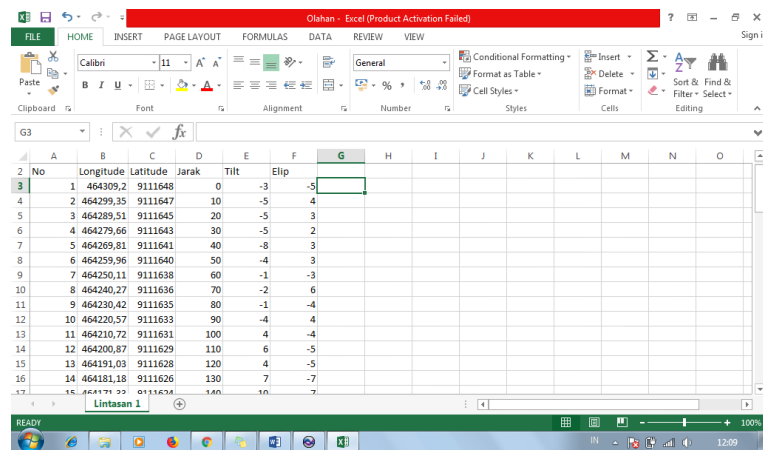
16. Desain survei yang sudah dibuat dapat disimpan dalam bentuk gambar dalam format file .jpg dengan cara klik *File* → *Export* → *Save as type .jpg* → *Save*.

LAMPIRAN 3

Tahap Pengolahan Data

A. Menghitung Data Dengan Koreksi Topografi dan *Filter*

1. Membuka *software Microsoft Excel* → masukkan hasil pengambilan data di lapangan yang meliputi nomor, *longitude*, *latitude*, jarak, *tilt*, dan eliptisitas kemudian simpan dalam format *file .xls*.



| No | Longitude | Latitude | Jarak | Tilt | Elip |
|----|-----------|----------|-------|------|------|
| 1 | 464309,2 | 9111648 | 0 | -3 | -5 |
| 2 | 464299,35 | 9111647 | 10 | -5 | 4 |
| 3 | 464289,51 | 9111645 | 20 | -5 | 3 |
| 4 | 464279,66 | 9111643 | 30 | -5 | 2 |
| 5 | 464269,81 | 9111641 | 40 | -8 | 3 |
| 6 | 464259,96 | 9111640 | 50 | -4 | 3 |
| 7 | 464250,11 | 9111638 | 60 | -1 | -3 |
| 8 | 464240,27 | 9111636 | 70 | -2 | 6 |
| 9 | 464230,42 | 9111635 | 80 | -1 | -4 |
| 10 | 464220,57 | 9111633 | 90 | -4 | 4 |
| 11 | 464210,72 | 9111631 | 100 | 4 | -4 |
| 12 | 464200,87 | 9111629 | 110 | 6 | -5 |
| 13 | 464191,03 | 9111628 | 120 | 4 | -5 |
| 14 | 464181,18 | 9111626 | 130 | 7 | -7 |
| 15 | 464171,33 | 9111624 | 140 | 10 | -7 |

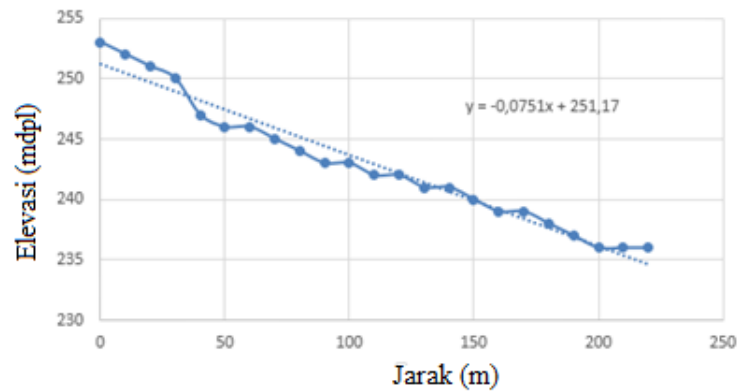
L18. Data *File* pada *Microsoft Excel*

2. Menghitung nilai koreksi topografi Baker Myers dengan persamaan:

$$R_{(1,2)} = \frac{R_1\% + R_2\%}{2} \pm TC$$

dimana R adalah data yang akan dilakukan koreksi topografi, dan TC adalah nilai koreksi topografi. TC diperoleh dari plot grafik nilai elevasi dengan jarak yang kemudian dihitung nilai gradiennya. Nilai gradien hasil perhitungan tersebut merupakan kemiringan dari topografi. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan cara melakukan perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*. Membuka *Microsoft Excel* dan melakukan *copy* data jarak pada sumbu x dan elevasi pada

sumbu $y \rightarrow$ blok \rightarrow insert \rightarrow scatter. Dari hasil plot grafik akan diketahui nilai gradiennya, dimana $y = mx + c$. Gradien dari persamaan itu adalah nilai m nya.



Gambar L21. Hasil Plot Elevasi Lintasan 1

Dari gambar tersebut didapatkan gradien sebesar -0,0751.

3. Menghitung besar sudut kemiringan dengan rumus $\tan \theta = \frac{y}{x}$, dalam hal ini $\frac{y}{x}$ adalah gradien (m) dari grafik.

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{y}{x} \right)$$

$$\tan \theta = 0,0751$$

$$\theta = \arctan(0,0751)$$

$$\theta = 4,289^{\circ}$$

Nilai sudut $\theta = 4,289^{\circ}$ dicocokkan dengan grafik nilai koreksi Topografi Baker Myers (Gambar L19) kemudian akan didapatkan nilai koreksi topografi sebesar 4% atau 0,04.

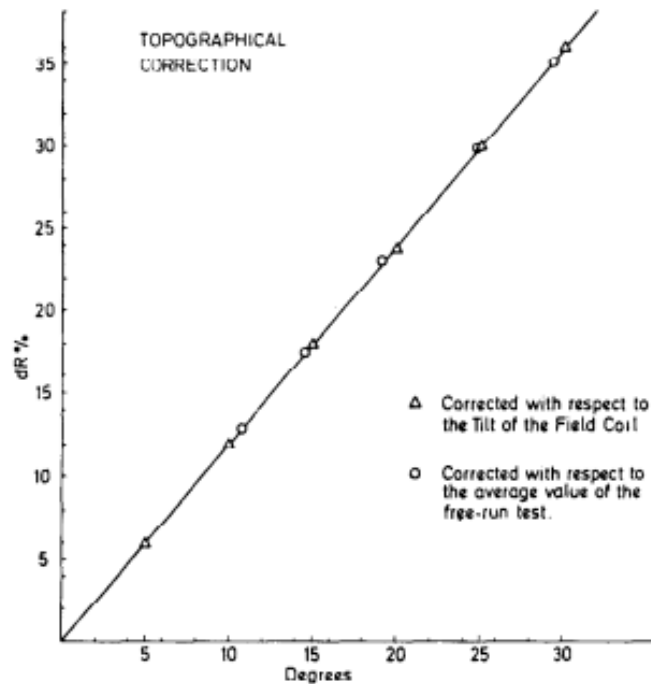


Fig. 3. Relationship between slope angle and dR.

Gambar L19. Grafik Hubungan Sudut dengan *Tilt* (Baker & Myers, 1980)

Jika kemiringan atau elevasinya semakin turun maka ditambahkan dengan nilai koreksi topografi, namun jika elevasi naik maka dikurangkan dengan nilai koreksi topografi. Mengulangi dan menghitung dengan cara yang sama untuk lintasan yang lain.

Olahan - Excel (Product Activation Failed)

FILE

HOME

INSERT

PAGE LAYOUT

FORMULAS

DATA

REVIEW

VIEW

Calibri

11

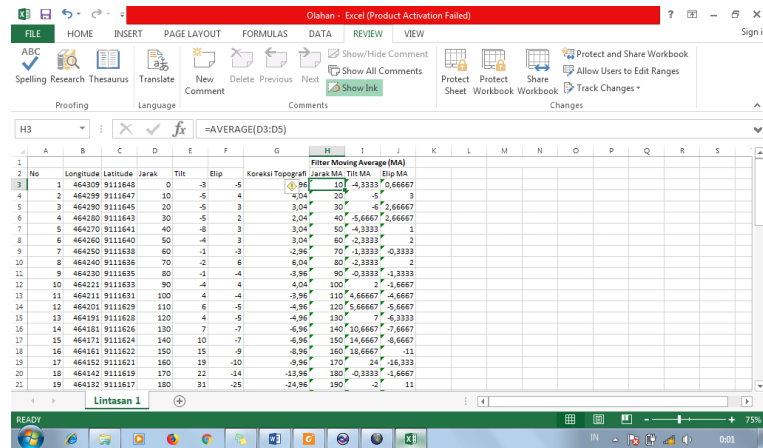
Gambar L20. Perhitungan Koreksi Topografi Lintasan 1

B. Filter Moving Average

1. Menghitung nilai *tilt* dan eliptisitas menggunakan *Filter Moving Average* dengan persamaan:

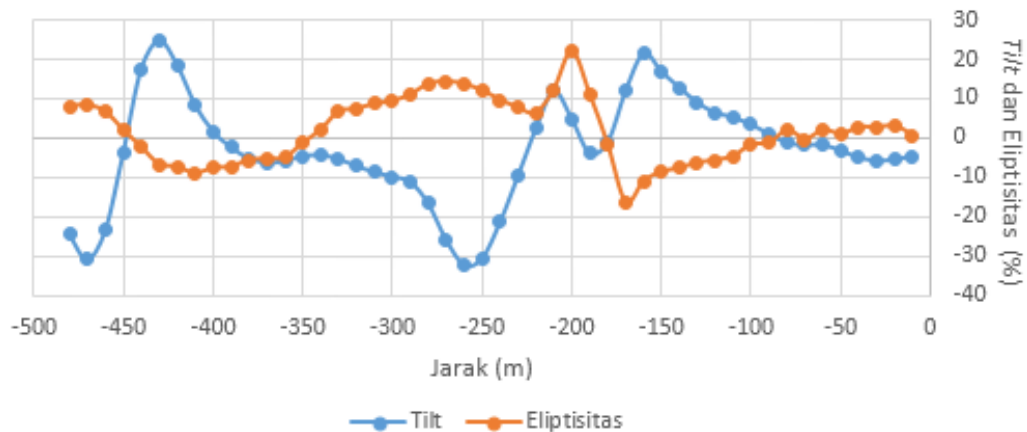
$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=-\frac{M-1}{2}}^{\frac{M-1}{2}} x[i+j]$$

dimana $y[i]$ adalah sinyal output hasil *Filter Moving Average*, $x[i+j]$ adalah sinyal input, dan M adalah orde *filter*.



Gambar L21. Data Hasil *Filter Moving Average*

2. Membuat grafik data yang telah dilakukan *Filter Moving Average* pada *Microsoft Excel* dengan cara blok kolom yang akan diplotkan nilainya yaitu (jarak, *tilt*, dan eliptisitas) → *insert* → *scatter*. Nilai X adalah jarak (m), Y adalah *tilt* (%), dan Z adalah eliptisitas (%).



Gambar L22. Grafik Jarak dengan *Tilt* dan *Elipsitas* sesudah *Filter Moving Average*

C. *Filter* Fraser

- Setelah *Filter Moving Average*, selanjutnya data diolah dengan *Filter* Fraser dengan persamaan:

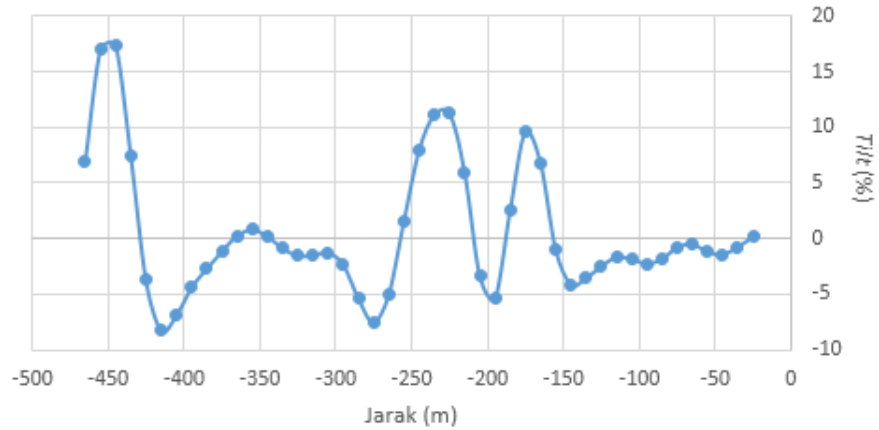
$$Fr = \frac{M_n + M_{n+1} - M_{n+2} - M_{n+3}}{4}$$

dimana *Fr* adalah sinyal *output* hasil *Filter* Fraser dan M_n adalah data ke- n .

| No | Longitude | Latitude | Jarak | Tilt | Elip | Koreksi Topografi | Filter Moving Average (MA) | Filter Fraser (F) |
|----|-----------|----------|-------|------|------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 464308 | 9111648 | 0 | -3 | -5 | -4,96 | 10 | -4,3333 |
| 2 | 464299 | 9111647 | 10 | -5 | 4 | 4,04 | 20 | -5 |
| 3 | 464290 | 9111645 | 20 | -5 | 3 | 3,04 | 30 | -4 |
| 4 | 464280 | 9111643 | 30 | -5 | 2 | 2,04 | 40 | -5,6667 |
| 5 | 464270 | 9111641 | 40 | -8 | 3 | 3,04 | 50 | -4,3333 |
| 6 | 464260 | 9111640 | 50 | -4 | 3 | 3,04 | 60 | -2,3333 |
| 7 | 464250 | 9111638 | 60 | -1 | -3 | -2,96 | 70 | -1,3333 |
| 8 | 464240 | 9111636 | 70 | -2 | 6 | 6,04 | 80 | -2,3333 |
| 9 | 464230 | 9111635 | 80 | -1 | -4 | -3,96 | 90 | -0,3333 |
| 10 | 464221 | 9111633 | 90 | 4 | 4 | 4,04 | 100 | 2 |
| 11 | 464211 | 9111631 | 100 | 4 | -4 | -3,96 | 110 | 4,6667 |
| 12 | 464201 | 9111629 | 110 | 6 | -5 | -4,96 | 120 | 5,6667 |
| 13 | 464191 | 9111628 | 120 | 4 | -5 | -4,96 | 130 | 7 |
| 14 | 464181 | 9111626 | 130 | 7 | -7 | -6,96 | 140 | 10,6667 |
| 15 | 464171 | 9111624 | 140 | 10 | -7 | -6,96 | 150 | 14,6667 |
| 16 | 464161 | 9111622 | 150 | 15 | -9 | -8,96 | 160 | 18,6667 |
| 17 | 464152 | 9111621 | 160 | 19 | -10 | -9,96 | 170 | 24 |
| 18 | 464142 | 9111619 | 170 | 22 | -14 | -13,96 | 180 | -0,3333 |
| 19 | 464132 | 9111617 | 180 | 31 | -25 | -24,96 | 190 | -2 |

Gambar L23. Data Hasil *Filter* Fraser

3. Membuat grafik jarak dengan *tilt* setelah *Filter* Fraser menggunakan *Microsoft Excel* dengan cara blok kolom yang akan diplotkan nilainya yaitu jarak, *tilt* setelah *Filter* Fraser. Nilai X adalah jarak (m), Y adalah *tilt* (%).



Gambar L24. Grafik Hubungan Jarak dengan *Tilt* sesudah *Filter* Fraser

D. *Filter* Karous Hjelt

Menghitung data menggunakan *Filter* Karous Hjelt dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_0 = 0.102M_n - 0.059M_{n+1} + 0.561M_{n+2} - 0.561M_{n+4} + 0.059M_{n+5} \\ - 0.102M_{n+6}$$

dimana H_0 adalah sinyal *output* hasil *Filter* Karous Hjelt dan M_n adalah data ke- n .

Olahan - Excel (Product Activation Failed)

FILE HOME INSERT PAGE LAYOUT FORMULAS DATA REVIEW VIEW

Spelling Research Thesaurus Translate New Comment Delete Previous Next Show/Hide Comment Show All Comments Show Link Protect Sheet Protect Workbook Share Workbook Track Changes

Proofing Language Comments

Formula Bar: $= (0,102*13) - (0,059*14) + (0,561*15) - (0,561*17) + (0,059*18) - (0,102*19)$

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S |
|----|----|-----------|----------|-------|------|------|-------------------|----------|---------|----------|---------|----------|-----|-----|----------|---|---|---|---|
| | No | Longitude | Latitude | Jarak | Tilt | Elip | Koreksi Topografi | Jarak MA | Tilt MA | Elip MA | Jarak F | Fraser F | X | Y | RAE 10 | | | | |
| 1 | 1 | 464209 | 9111648 | 0 | -3 | -5 | -4,96 | 10 | -4,3333 | -0,6667 | -25 | 0,58333 | 40 | -10 | -1,0237 | | | | |
| 2 | 2 | 464299 | 9111647 | 10 | -5 | 4 | 4,04 | 20 | -5 | 3 | -35 | -0,25 | 50 | -10 | -1,8667 | | | | |
| 3 | 3 | 464290 | 9111645 | 20 | -5 | 3 | 3,04 | 30 | -2 | 2,6667 | -45 | -1,25 | 60 | -10 | -2,0643 | | | | |
| 4 | 4 | 464280 | 9111643 | 30 | -5 | 2 | 2,04 | 40 | -5,6667 | 2,6667 | -55 | -1,5833 | 70 | -10 | -2,546 | | | | |
| 5 | 5 | 464270 | 9111641 | 40 | -8 | 3 | 3,04 | 50 | -4,3333 | 1 | -65 | -0,75 | 80 | -10 | -1,2233 | | | | |
| 6 | 6 | 464260 | 9111640 | 50 | -4 | 3 | 3,04 | 60 | -2,3333 | 2 | -75 | -0,25 | 90 | -10 | -2,893 | | | | |
| 7 | 7 | 464250 | 9111638 | 60 | -1 | -3 | -2,96 | 70 | -1,3333 | -0,3333 | -85 | -1,3333 | 100 | -10 | -3,188 | | | | |
| 8 | 8 | 464240 | 9111636 | 70 | -2 | 6 | 6,04 | 80 | -2,3333 | 2 | -95 | -2,3333 | 110 | -10 | -3,9603 | | | | |
| 9 | 9 | 464230 | 9111635 | 80 | -1 | -4 | -3,96 | 90 | -0,3333 | -2,3333 | -105 | -2,1667 | 120 | -10 | -2,3277 | | | | |
| 10 | 10 | 464221 | 9111633 | 90 | -4 | 4 | 4,04 | 100 | 2 | -1,6667 | -115 | -1,5 | 130 | -10 | -3,915 | | | | |
| 11 | 11 | 464211 | 9111631 | 100 | 4 | -4 | -3,96 | 110 | 5,6667 | -8,6667 | -125 | -1,8333 | 140 | -10 | -5,506 | | | | |
| 12 | 12 | 464201 | 9111629 | 110 | 6 | -5 | -4,96 | 120 | 5,6667 | -8,6667 | -135 | -3,1667 | 150 | -10 | -2,873 | | | | |
| 13 | 13 | 464191 | 9111628 | 120 | 4 | -5 | -4,96 | 130 | 7 | -6,3333 | -145 | -3,9167 | 160 | -10 | -4,967 | | | | |
| 14 | 14 | 464181 | 9111626 | 130 | 7 | -7 | -6,96 | 140 | 10,6667 | -7,6667 | -155 | -4,3333 | 170 | -10 | -11,3757 | | | | |
| 15 | 15 | 464171 | 9111624 | 140 | 10 | -7 | -6,96 | 150 | 14,6667 | -8,6667 | -165 | 2,41667 | 180 | -10 | 13,0627 | | | | |
| 16 | 16 | 464161 | 9111622 | 150 | 15 | -9 | -8,96 | 160 | 18,6667 | -11 | -175 | 11,25 | 190 | -10 | 3,72167 | | | | |
| 17 | 17 | 464152 | 9111621 | 160 | 19 | -10 | -9,96 | 170 | 24 | -16,3333 | -185 | 7,91667 | 200 | -10 | 6,3907 | | | | |
| 18 | 18 | 464142 | 9111619 | 170 | 22 | -14 | -13,96 | 180 | -0,3333 | -1,6667 | -195 | -2,9167 | 210 | -10 | -6,5753 | | | | |
| 19 | 19 | 464132 | 9111617 | 180 | 31 | -25 | -24,96 | 190 | -2 | 11 | -205 | -7,9167 | 220 | -10 | 12,6387 | | | | |

Worksheet: Lintasan 1

Gambar L25. Data Hasil *Filter* Karous Hjelt

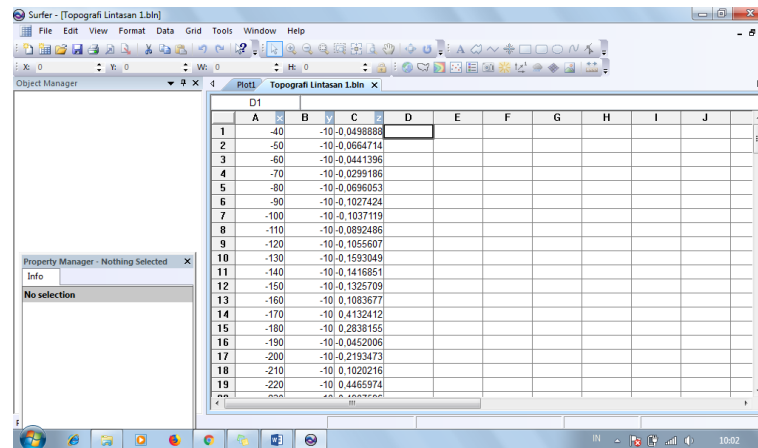
Setelah satu kedalaman didapat, kemudian melanjutkan dengan cara yang sama hingga kedalaman 70 m dan mengulangi dengan cara yang sama untuk lintasan yang lain.

LAMPIRAN 4

Tahap Pemodelan

A. Kontur 2D Rapat Arus Ekuivalen dengan *Surfer 12*

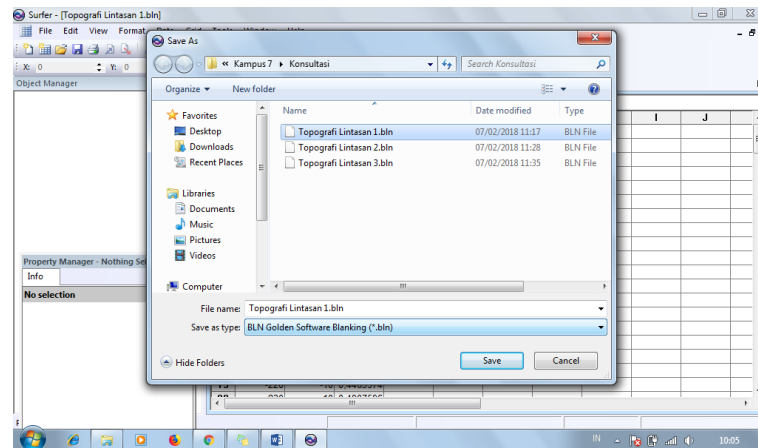
1. Masukkan data yang telah dihitung pada *Microsoft Excel* ke dalam *software Surfer 12* dengan *input* (masukan) kolom x adalah jarak, kolom y adalah kedalaman, dan kolom z adalah nilai RAE dengan cara buka *Software Surfer 12* → *file* → *New worksheet*.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|------|-----|-----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -40 | -10 | 0.0498888 | | | | | | | |
| 2 | -50 | -10 | 0.0664714 | | | | | | | |
| 3 | -60 | -10 | 0.0441396 | | | | | | | |
| 4 | -70 | -10 | 0.0299186 | | | | | | | |
| 5 | -80 | -10 | 0.0696053 | | | | | | | |
| 6 | -90 | -10 | 0.1027424 | | | | | | | |
| 7 | -100 | -10 | 0.1037119 | | | | | | | |
| 8 | -110 | -10 | 0.0892486 | | | | | | | |
| 9 | -120 | -10 | 0.1055607 | | | | | | | |
| 10 | -130 | -10 | 0.1533049 | | | | | | | |
| 11 | -140 | -10 | 0.1416851 | | | | | | | |
| 12 | -150 | -10 | 0.1325709 | | | | | | | |
| 13 | -160 | -10 | 0.1083677 | | | | | | | |
| 14 | -170 | -10 | 0.4132412 | | | | | | | |
| 15 | -180 | -10 | 0.2838155 | | | | | | | |
| 16 | -190 | -10 | 0.0452006 | | | | | | | |
| 17 | -200 | -10 | 0.2193473 | | | | | | | |
| 18 | -210 | -10 | 0.1020216 | | | | | | | |
| 19 | -220 | -10 | 0.4465974 | | | | | | | |

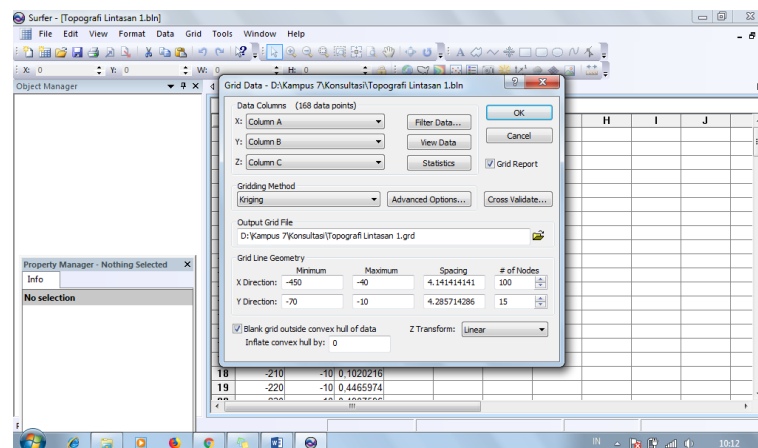
Gambar L26. Pembuatan Model 2D Rapat Arus Ekuivalen (RAE)

2. Simpan dalam format *file* .BLN dengan cara klik *file* → *save as* → *save as type* .BLN → *save*.



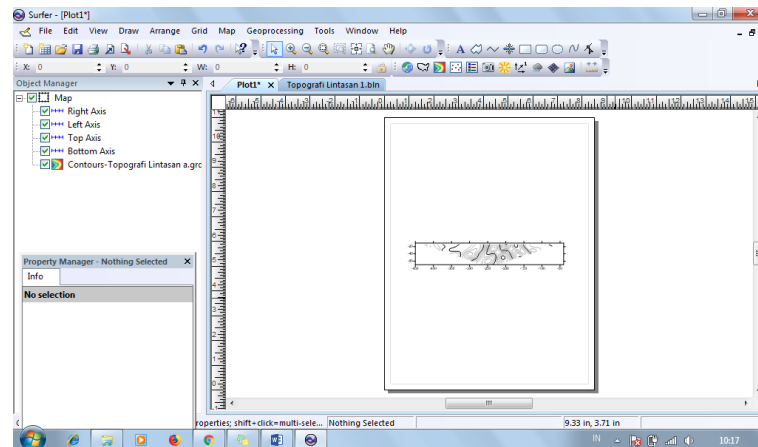
Gambar L27. Penyimpanan format file .BLN pada Software Surfer 12

3. Selanjutnya *grid* data yang telah tersimpan dalam format file .bln dengan cara *grid* → data → *open worksheet* (pilih file yang telah tersimpan) → *open*. Pada data kolom isikan x adalah kolom A (jarak), y adalah kolom B (kedalaman), dan z adalah kolom C (nilai RAE). Sedangkan pada *Gridding Method* pilih *Kriging*. Centang *blank grid outside convex hull of data* sebagai pembatasnya lalu klik Ok.



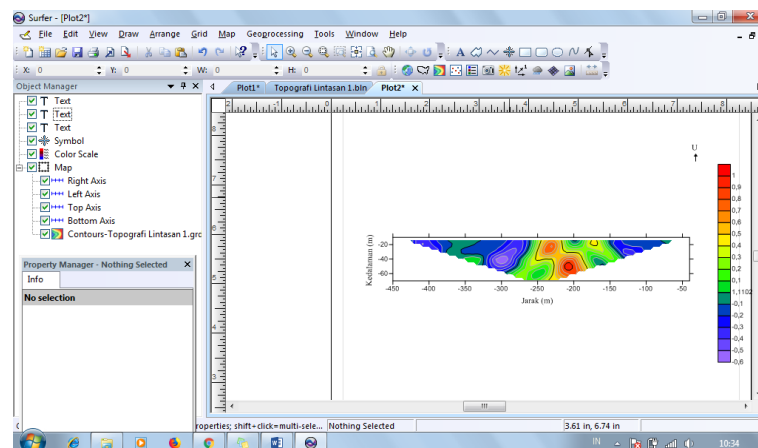
Gambar L28. Pengaturan Gridding

4. Membuka lembar kerja dengan cara *New Plot* → *New Contour Map* → pilih *file* yang telah dilakukan *grid* → *Open* dan akan menghasilkan gambar kontur sebagai berikut:



Gambar L29. Lembar Kerja Software Surfer 12 *New Contour Map*

5. Memberikan warna dan skala yang dapat dilakukan dengan klik pada menu *Property Manager* dan dapat menambahkan label serta *symbol* dengan memilih pada *menu bar*.

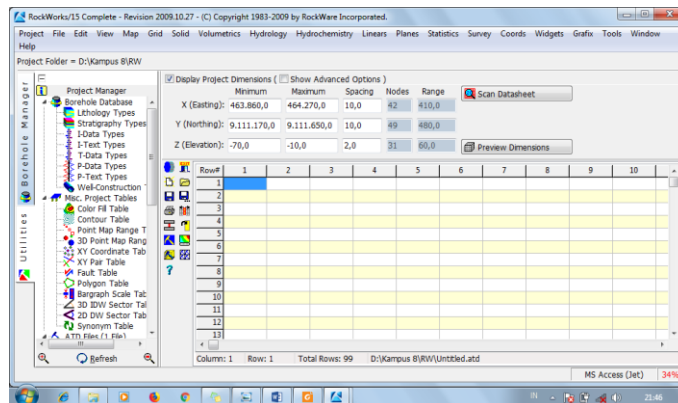


Gambar L30. Hasil model 2D *Rapat Arus Ekuivalen* (RAE) pada Software Surfer 12

6. Menyimpan kontur ke dalam bentuk gambar dengan cara *File* → *Export* → *Save as type .jpg* → *Save* → *Ok*.

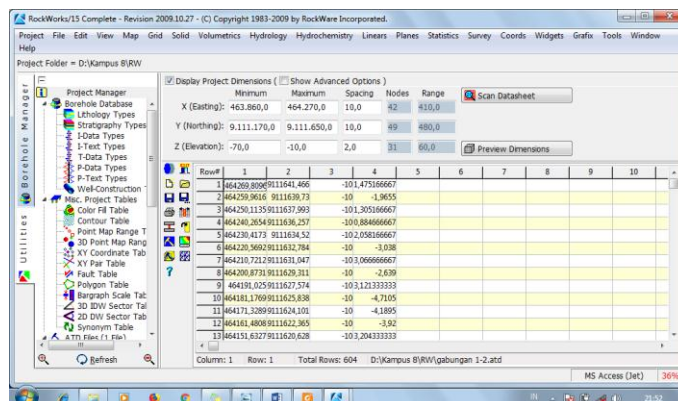
B. Membuat Model Bawah Permukaan 3D Menggunakan Software Rockwork 15

1. Buka software Rockwork 15, maka akan muncul:



Gambar L31. Tampilan Awal Menu *Utilities* Software Rockwork 15

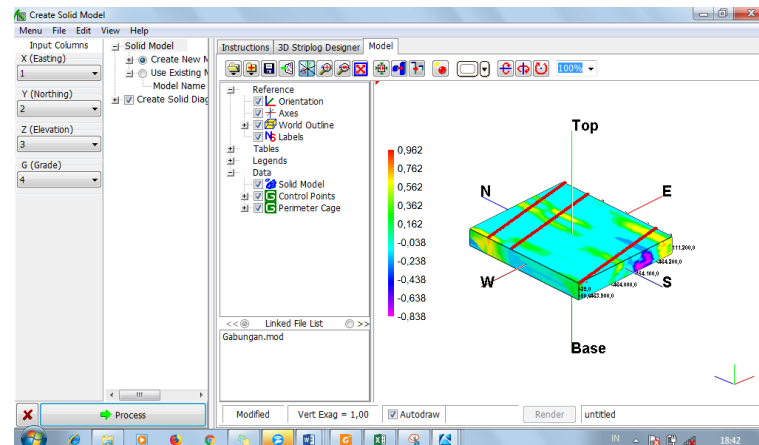
2. Mengisi kolom *utilities* sesuai dengan data yang diperlukan seperti data *longitude*, *latitude*, kedalaman, dan nilai RAE dari ketiga lintasan.



Gambar L32. Tampilan Awal Pengisian *Datasheet* Pemodelan 3D

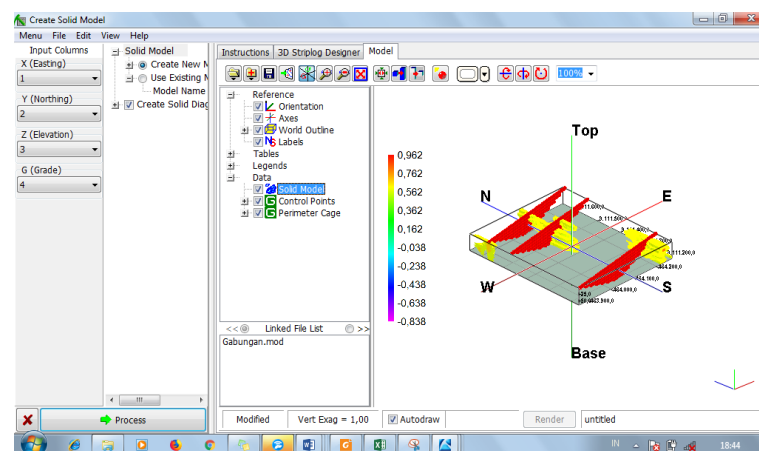
3. Menyimpan *file utilities* dengan cara klik *file* → *Save as* → *save as type (*.atd)* → *save*.
4. Melakukan *scant data* dengan cara klik *Scant data sheet* dan pastikan input *columns X-column* (1), *Y column* (2), dan *Z column* (3) → *Process*.

5. Membuat model *solid* 3D dengan cara klik *solid* → *model* → *Process*. Maka akan menghasilkan:



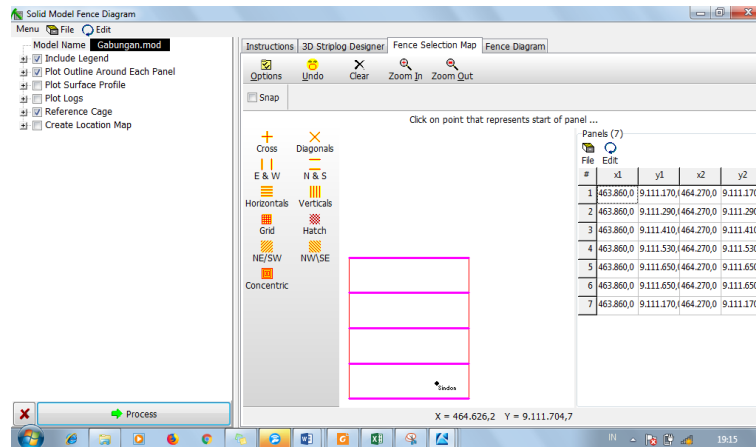
Gambar L33. Tampilan *Solid Model* 3D Ketiga Lintasan

6. Melakukan penyimpanan gambar dengan cara klik *file* → *Export* → *JPEG* → *file name* → *save* → *Ok*.
7. Setelah gambar *Solid Model* 3D disimpan selanjutnya melakukan *iso leveling* dengan cara klik *solid* → klik kanan → *Options* → pilih *iso-level value* → masukkan nilai yang berkorelasi dengan sungai bawah tanah (0,46) → *apply* → *close*. Maka hasilnya sebagai berikut:



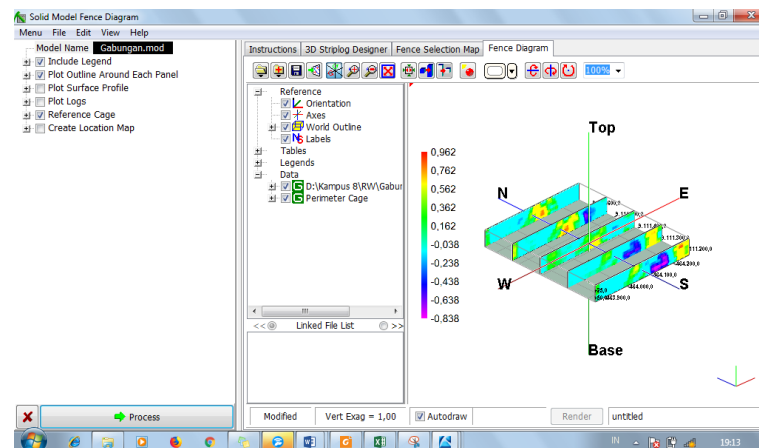
Gambar L34. Tampilan *Solid Model* Setelah *Iso Leveling*

8. Simpan file dalam bentuk format *file* .JPEG dengan cara klik *file* → *Export* → *JPEG* → *file name* → *Save* → *Ok*. Dengan begitu *file* yang telah dibuat secara otomatis dapat dibuka dalam format *file* .JPEG.
9. Melakukan penyayatan dengan cara klik *solid* → *fence* → *fence selection map* pilih *horizontal* hasilnya sebagai berikut:



L35. Tampilan Pilihan Jenis Penyayatan *Software Rockwork 15*

10. Klik *Process*, maka *software* akan secara otomatis memodelkan hasil sayatan dalam bentuk 3D.



Gambar L36. Tampilan Hasil Sayatan Horizontal Model 3D

LAMPIRAN 5

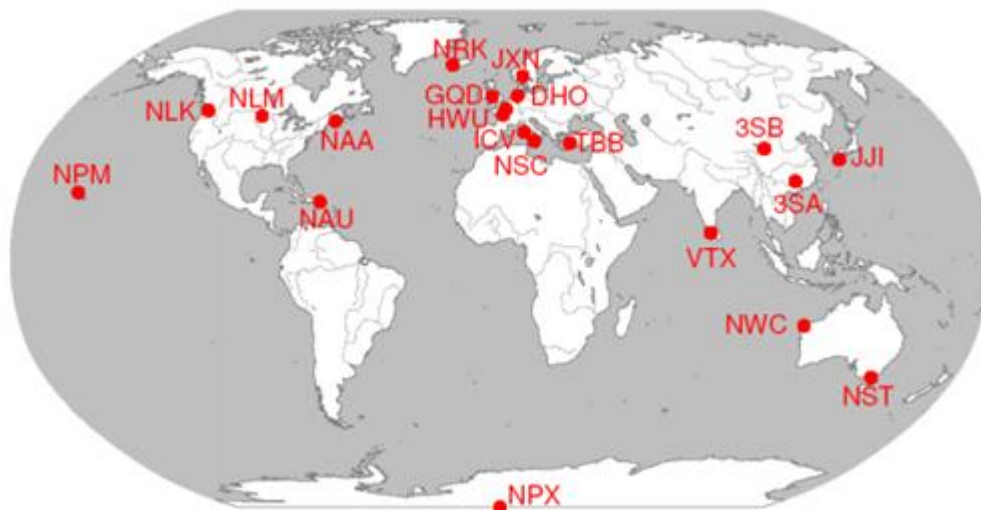
Transmitter

Tabel L4. Koordinat *Transmitter* di Seluruh Dunia (Cohen, 2009)

| No. | <i>Longitude</i> (m) | <i>Latitude</i> (m) | Frekuensi (Hz) | SIGN | Location | kW |
|-----|-------------------------|------------------------|-------------------|------|-------------------------------------|------|
| 1. | 55.760 | 84.450 | Altermates | RA1 | Novosibirsk, Russia | 500 |
| 2. | 45.403 | 38.158 | Altermates | RA2 | Krasnodar, Russsia | 500 |
| 3. | 50.070 | 135.600 | Altermates | RA3 | Komsomolsk-na- Amur, Russia | 500 |
| 4. | 59.910 | 10.520 | 16.400 | JXN | Kolsas, Norway (NATO) | 45 |
| 5. | 8.387 | 77.753 | 18.200 | VTX | Katabomman, India | - |
| 6. | 46.713 | 1.245 | 18.300 | HWU | Le Blanc, France (NATO) | 400 |
| 7. | -38.481 | 146.935 | 18.600 | NST | Woodside, Australia (USA) | - |
| 8. | 52.911 | -3.280 | 19.600 | GQD | Anthom, Great Britain (NATO) | 100 |
| 9. | -21.816 | 114.166 | 19.800 | NWC | North West Cape, Australia (USA) | 1000 |
| 10. | 40.923 | 9.731 | 20.270 | ICW | Isola di Tavolara, Italy (NATO) | 20 |
| 11. | 39.600 | 103.330 | 20.600 | 3SB | Datong, China | - |
| 12. | 48.544 | 2.576 | 20.900 | HWV | St Assie, France | 400 |
| 13. | 25.030 | 111.670 | 21.100 | 3SA | Changde, China | - |
| 14. | 21.420 | -158.154 | 21.400 | NPM | Lualualei, Hawaii, USA | 424 |
| 15. | 46.713 | 1.245 | 21.750 | HWU | Le Blanc. France (NATOP | 400 |
| 16. | 52.911 | -3.280 | 22.100 | GQD | Anthom, Great Britain (NATO) | 200 |
| 17. | 32.040 | 130.810 | 22.200 | JJI | Ebino, Japan | 200 |
| 18. | 46.713 | 1.245 | 22.600 | HWU | Le Blanc, France (NATO) | 400 |
| 19. | 53.079 | 7.614 | 23.400 | DHO | Rhauderfehn, Germany (NATO) | 800 |
| 20. | 46.646 | -67.281 | 24.000 | NAA | Cutler, Maine, USA | 1000 |
| 21. | 48.203 | -121.917 | 24.000 | NLK | Jim Creek, Wasingthon, USA | 192 |

| | | | | | | |
|-----|--------|---------|--------|-----|----------------------------|-----|
| 22. | 46.366 | -98.335 | 25.200 | NLM | LaMoure, North Dakota, USA | - |
| 23. | 37.430 | 27.550 | 26.700 | TBB | Bafa, Turkey | - |
| 24. | 63.851 | -22.459 | 37.500 | NRK | Grindavik, Iceland (USA) | - |
| 25. | 18.399 | -67.178 | 40.750 | NAU | Aguada, Puerto (USA) | 100 |
| 26. | 38.000 | 13.500 | 45.900 | NSC | Sicily, Italy (USA) | - |

Persebaran *transmitter* di seluruh dunia ditunjukkan oleh gambar berikut



Gambar L37. Peta Lokasi *Transmitter* di Seluruh Dunia (Cohen, 2009)

LAMPIRAN 6

Dokumentasi Pengambilan Data



Gambar L38. Dokumentasi Pengambilan Data

LAMPIRAN 7

Data Bor Dam 2 Sindon Bribin

Tabel 2. Data Bor Dam 2 Sindon Bribin (Kementrian Pekerjaan Umum, 2004)

| Litologi | Simbol | Keterangan |
|----------|--------|--|
| | | Kedalaman 00 – 03 m. <i>Soil</i> , lempung gampingan lunak. |
| | | Kedalaman 03 – 08 m. Gamping pasir putih, ukuran butir pasir halus, foraminifera kecil lunak. |
| | | Kedalaman 08 – 12 m. Gamping putih kecoklatan, ukuran butir pasir sedang, fosil foraminifera kecil lunak. |
| | | Kedalaman 12 – 36 m. Gamping putih ukuran butir pasir halus terdapat sisipan gamping ukuran butir pasir kasar, fosil foraminifera kecil agak lunak. |
| | | Kedalaman 36 – 64 m. Gamping putih kecoklatan, ukuran butir pasir halus, sedang fosil foraminifera kecil lunak. |
| | | Kedalaman 64 – 75 m. Gamping non klasik putih kekuningan masif fosil foraminifera besar keras. |
| | | Kedalaman 75 – 80 m. Gamping coklat kekuningan, ukuran butir pasir sedang, sisipan tipis gamping non klasik putih agak keras. |
| | | Kedalaman 80 – 100 m. Gamping non klasik, berwarna putih kekuningan, masif, foraminifera besar. Ada sisipan gamping klasik, ukuran butir pasir halus-sedang, fosil foraminifera kecil. |